



**Universidad**  
Zaragoza

---

# Trabajo Fin de Grado

---

Alternativas en arquitectura sostenible:  
Construcción de viviendas con botellas de plástico

PET bottle houses.  
Alternatives in sustainable architecture

Autor

María del Mar Sastrón Artigas

Director

José Ignacio Palomero Cámara

Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
2019/2020

ALTERNATIVAS EN ARQUITECTURA SOSTENIBLE

---

# Construcción de viviendas con botellas de plástico

trabajo fin de grado

autora: maría del mar sastrón artigas  
director: josé ignacio palomero cámara

ALTERNATIVAS EN ARQUITECTURA SOSTENIBLE

---

## Construcción de viviendas con botellas de plástico

Este estudio explora la construcción con un material alternativo a lo que es habitual en el mundo desarrollado como son las botellas de plástico de un solo uso que se acumulan en el planeta, investigando la capacidad de la arquitectura para transformar un problema medioambiental como es el plástico no reciclado que acaba contaminando los océanos, en una oportunidad de construcción de vivienda de bajo coste. A partir del análisis de distintos prototipos de viviendas realizadas con este material en países en desarrollo, se estudiará su impacto social, económico y medioambiental y se intentará dar respuesta a la siguiente pregunta:

¿Es posible construir con materiales considerados como basura y, al mismo tiempo, hacer arquitectura?

*resumen*

botellas de plástico | construcción | sostenibilidad | reutilización | vivienda | PET

*palabras clave*



En el remoto desierto del suroeste de Argelia, un joven refugiado saharauí llena con arena botellas desechadas para construirle una casa a su anciana abuela. En la isla de Bocas del Toro, Panamá, el primer pueblo hecho de botellas de plástico recibe a los inquilinos que lo van a inaugurar. Al mismo tiempo la señora María, muy segura de que su “casita encantada”, por fin terminada, es única en El Salvador, se niega a construirle otra a los amigos que la trataron de loca cuando tiempo atrás les contó su idea.

¿Qué hay detrás de estas historias? Personas; personas que tuvieron una idea. Una idea “loca” que, ante la estupefacción de su entorno, llevaron a cabo. No eran arquitectos, pero han construido viviendas.

Ahora, el resto del mundo puede aprender algo de ellos.

# Índice

<b>12</b>	<b>01. Consideraciones previas</b>	<b>05. Análisis de casos. Viviendas para refugiados saharauis en Tinduf</b>	<b>48</b>
14	Motivaciones y objetivos	La importancia del contexto	50
15	Metodología y fuentes	Comparación con la arquitectura tradicional	51
16	Estructura del trabajo	Implantación urbana	53
		Estudio de tipologías: El sistema PET adaptado a diversas necesidades	55
		Las variaciones en el sistema constructivo	64
		Impacto económico, social y medioambiental	68
<b>18</b>	<b>02. Introducción: hacia una arquitectura sostenible</b>	<b>06. Conclusiones</b>	<b>72</b>
20	Crisis climática y arquitectura sostenible	<b>07. Anexo I. Índice de casos: construcciones con botellas de plástico</b>	<b>76</b>
20	La industria de la construcción	<b>08. Anexo II Comunicaciones y entrevistas</b>	<b>80</b>
21	La crisis del plástico	Contacto con la organización Hug it Forward	82
23	Derecho a vivienda	Contacto con Alfredo Santa Cruz, creador de La Casa Ecológica de Botellas	83
23	Arquitectura y sostenibilidad, el reto del siglo XXI	Preguntas a Tateh Lehbib, 'el loco de las botellas'	84
<b>24</b>	<b>03. Reutilización de residuos en la arquitectura</b>	<b>09. Créditos</b>	<b>88</b>
26	¿Qué es el desecho?	Bibliografía	90
26	¿Reciclar o reutilizar?	Imágenes	96
27	Materiales desechados en construcción		
29	Las primeras construcciones con botellas: el legado del vidrio		
<b>32</b>	<b>04. Botellas de plástico como material de construcción</b>		
34	La botella de plástico		
34	Características de las botellas PET		
35	Problemas de su reutilización y reciclaje		
36	Beneficios de su uso en la construcción		
38	Las primeras viviendas con botellas de plástico		
41	Las bases del sistema constructivo con botellas		
41	La técnica ECOTEC, de Andreas Froese		
44	El EcoBrick y otros tipos de "eco-ladrillo"		
45	Estudios teórico-prácticos e investigaciones		
46	El mapa de las casas de botellas		

**01**

# **Consideraciones previas**

## **Motivaciones y objetivos**

La primera vez que oí hablar de las casas construidas con botellas de plástico me encontraba bajo un cielo con miles de estrellas en pleno desierto del Sahara. Charlando alrededor de la hoguera con mis anfitriones bereberes mencioné que estudiaba arquitectura, sin esperar lo que sucedió a continuación: el más joven, Said, sacó su móvil y nos mostró una publicación que había visto en Facebook. Primero tuve que lidiar con mi propio desconcierto; pues claro que incluso los nómadas bereberes tienen redes sociales, y por supuesto puede haber cobertura en mitad del desierto. Luego me sorprendió lo que me enseñó: un joven Saharaui estaba construyendo viviendas reutilizando botellas de plástico en un campamento de refugiados al otro lado de la frontera.

Mi preocupación por el problema generado por el consumo indiscriminado de plástico de un solo uso había comenzado ya tiempo atrás. Cuando las noticias al respecto en España aún no eran tan frecuentes, yo me fui de Erasmus a Bélgica, un país que estaba bastante más concienciado en ese aspecto. Allí empecé a realizar pequeños cambios enfocados a reducir la huella ecológica de mi día a día, y a investigar formas posibles de ayudar en distintos ámbitos.

Quizá por eso, al escuchar la explicación de Said, pensé, ¿sería ésta una forma de contribuir a solucionar el problema de la contaminación del plástico desde mi campo profesional? ¿Es posible construir con materiales considerados como basura y, al mismo tiempo, hacer arquitectura?

Más tarde me daría cuenta de que el impacto positivo que estas estrategias podían tener iba más allá de la acción medioambiental. Los potenciales beneficios económicos y sociales podrían convertir estas actuaciones en ejemplos de construcción sostenible en todos los aspectos, fuera de la construcción convencional.

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

-Investigar la capacidad de la arquitectura para transformar un problema medioambiental como es el plástico no reciclado que acaba contaminando los océanos, en una oportunidad de construcción de vivienda de bajo coste.

-Exponer los efectos positivos de la reutilización de materiales en la construcción; con énfasis en las botellas de plástico, considerando los materiales desechados como recursos.

-Analizar actuaciones y prototipos de viviendas realizadas con botellas de plástico recicladas.

-Estudiar la viabilidad constructiva y el impacto social, económico y medioambiental de este tipo de vivienda.

## **Metodología y fuentes**

El trabajo se centra en el estudio de distintos casos de construcción de viviendas a partir de la reutilización de botellas de plástico en países en desarrollo, desde unos parámetros previamente definidos.

El punto de partida consiste en buscar información general y seleccionar los casos de estudio representativos en distintos contextos, lo cual no ha sido fácil, puesto que hay muchos más de los que imaginaba en un principio, especialmente en Latinoamérica.

Se trata de un tema en el que no se ha profundizado mucho; gran parte de la información actual viene de artículos en periódicos, y los pocos estudios existentes al respecto han sido realizados por personas o instituciones generalmente ajenas a los casos construidos. Tampoco se dispone de planimetría online. Es por ello que decido intentar contactar directamente con las personas a cargo de distintos proyectos, con el objetivo de obtener información relevante para el estudio y comprobar si existen planos arquitectónicos previos o posteriores a las construcciones. En caso negativo, podrían dibujarse a partir de fotografías y la información recabada.

Paralelamente al proceso de completar la información, voy descartando casos para centrar el trabajo en los que me parecen más completos y coherentes. El contacto con las fuentes es clave a la hora de tomar la decisión de elegir un único caso principal, que puede ser estudiado y descrito de forma más detallada con una mayor atención al contexto.

## **Estructura del trabajo**

El interés del estudio de la técnica constructiva planteada en este trabajo no radica únicamente en la originalidad del propio sistema, sino en la capacidad del mismo de dar respuesta a dos grandes problemas de importancia global: la crisis ambiental generada por el exceso de plásticos de un solo uso, y la necesidad de vivienda económica en comunidades con pocos recursos. Es por ello que se hace necesario comenzar por la definición y entendimiento del alcance de los problemas abordados desde una perspectiva general.

Una vez contextualizado, y con el propósito de llegar a exponer soluciones arquitectónicas comprometidas con los problemas abordados, nos sumergimos en la exploración de una vía de construcción alternativa a lo que es habitual en el mundo desarrollado, utilizando materiales desechados. Veremos quiénes han sido los propulsores de esta perspectiva, y cómo se ha aplicado la reutilización de residuos en la arquitectura.

Después, veremos cuáles son las características de un material como el PET que lo hacen apto para ser utilizado en la construcción, junto a los primeros casos de viviendas de botellas de plástico y las motivaciones más comunes detrás de este tipo de proyectos. Profundizaremos en el origen de la técnica, hasta llegar a la persona que es la inspiración que está detrás de la mayoría de casos que existen en la actualidad.

A partir de este punto, el desarrollo del trabajo se produce en paralelo al estudio de los diferentes casos elegidos, poniendo especial interés en las viviendas del campamento de refugiados saharauis en Tinduf. Este proyecto funciona como hilo conductor y referencia respecto al cual se comparará el resto de casos, con la intención de llegar a conclusiones en cuanto a su viabilidad constructiva y su impacto, descubriendo los retos presentes y futuros de este tipo de construcciones.

# 02

## Introducción: hacia una arquitectura sostenible

*"La sostenibilidad como concepto es sin duda una de las ideas más importantes de nuestro tiempo. Aceptar la necesidad de utilizar de forma racional los recursos del planeta, para poder entregarlo en condiciones dignas a nuestros herederos, es una propuesta de tal envergadura, que nos obliga a la reflexión y a establecer pautas de comportamiento acordes con este concepto en todos los ámbitos de la actividad humana."*<sup>1</sup>

*Javier Uceda Antolín*

Los sistemas de construcción con botellas pueden contribuir a solucionar importantes problemas de alcance global, como son la crisis ambiental generada por el exceso de plásticos de un solo uso, o el difícil acceso a vivienda económica en comunidades con pocos recursos. En el panorama actual, en el que la sostenibilidad debe ocupar un primer plano en todos los ámbitos del desarrollo humano, es necesario cuestionarse si la industria de la construcción está cumpliendo con las expectativas, o si por el contrario es necesario centrar el esfuerzo en buscar alternativas para diseñar una arquitectura verdaderamente sostenible.

## **Crisis climática y arquitectura sostenible**

Una de las preocupaciones de mayor trascendencia en la actualidad es la crisis climática a la que nos enfrentamos, producida por un acelerado calentamiento global. Esta no ha sido sino la consecuencia de un desarrollo descontrolado de la industrialización y los procesos productivos, que no ha tenido en cuenta los efectos que nuestras acciones iban a tener en el planeta. El auge de la demanda de bienes de consumo ha supuesto también una generación de residuos que, en su mayor parte, no se ha sabido gestionar.

Ahora estamos en pleno proceso de cambio en todos los aspectos. Según Antonio Valero, director general de CIRCE, para poder realizar esta transformación en lo que debemos pensar es en energía: “No es la energía que consumimos directamente la que nos debe preocupar sino la indirecta, es decir, la energía utilizada en producir todos los productos y servicios que consumimos”<sup>2</sup>. Lo que tiene importancia es el coste energético, es decir, las cantidades de energía que han sido necesarias para producirlo y desecharlo. Se trata de ser conscientes de que todas nuestras elecciones, ya sea en nuestro día a día o en nuestro ejercicio profesional, tienen consecuencias.

En cuanto al ejercicio sostenible de la arquitectura, Javier Uceda, rector de la universidad politécnica de Madrid, dice que el camino a seguir es “asegurar el mínimo uso de materiales y recursos energéticos no renovables en la producción del espacio construido, (...) a la vez que se incorporan nuevas soluciones espaciales y formales”<sup>3</sup>. Esta línea de pensamiento debería producir una evolución de gran importancia en la configuración arquitectónica.

## **La industria de la construcción**

La lucha contra el cambio climático concierne a todos; también a los arquitectos. Es un hecho que el sector de la construcción es uno de los más contaminantes que existen. De hecho, según datos de un estudio de la Universidad de Harvard, se estima que “incluyendo la construcción y otras operaciones, el sector de la construcción consume un 40% de la energía del planeta; fuente de un 25% de las emisiones de

carbono del mundo.”<sup>5</sup> Por ello, es preciso trabajar en reducir el impacto de esta industria.

En general, en la sociedad desarrollada actual los edificios se construyen con hormigón, acero y vidrio; materiales que necesitan una inmensa cantidad de energía para su producción y tienen una desmesurada huella de carbono. Junto a otros como el aluminio y los plásticos, nos encontramos ante los materiales más utilizados por la sociedad en general<sup>6</sup>. Sin embargo, parece que los esfuerzos en cuanto a sostenibilidad se están enfocando más en mejorar el comportamiento energético de los edificios que en reducir la huella ecológica del proceso de construcción en sí. Según Antonio Valero, el camino para lograr una construcción sostenible pasa por la industrialización. Hasta que no se perfeccionen los sistemas de prefabricación y construcción en seco, y se consiga que el proceso constructivo sea reversible, posibilitando así la reutilización eficiente de materiales, no podremos hablar con propiedad de una construcción sostenible.

Otro de los grandes retos, más allá de la construcción en sí misma, es que una técnica o material nuevo sea aceptado tanto por los individuos que lo van a disfrutar, como por la industria que lo puede usar. La industria de la construcción está perfectamente consolidada, y puede ser difícil convencerla de dejar a un lado su inicial escepticismo y que apruebe ciertos sistemas innovadores. Esta cuestión inquieta especialmente a Andreas Froese, uno de los pioneros en las edificaciones con botellas, que en una entrevista de mayo de 2018<sup>7</sup> expresa su disconformidad respecto a la falta de innovación en este aspecto de la arquitectura actual. “Dicen que lo que yo hago es construcción alternativa, y yo me pregunto, ¿alternativa de qué?” Y es que no concibe que un sistema que lleva usándose solo 100 años se acepte como lo mejor; lo definitivo. Apuesta por el pensamiento creativo, aunque en ocasiones lleve al fracaso.

## **La crisis del plástico**

Se estima que los plásticos suponen casi la mitad del total de la basura acumulada en el planeta<sup>8</sup>. Como no son biodegradables, nos enfrentamos a un problema de escala global: nuestros océanos, fuente de vida del planeta, están llenos de plástico. Es más, los estudios dicen que si no se hace algo al respecto, en el año 2050 habrá más plástico que peces en el mar<sup>9</sup>.

<sup>5</sup>Design Robotics Group, *Low carbon facade systems: case study on the Miniwiz PO-LLI-Brick Cladding System*, Harvard University (2011).

<sup>6</sup>Antonio Valero, "Energía y desarrollo social", 46.

<sup>7</sup>Andreas Froese, Entrevista en el programa "Hablemos de arquitectura" (mayo 2018).

<sup>8</sup>Laura Parker, "Plastics", *National Geographic*, junio 2018, 46.

<sup>9</sup>Laura Parker, "Plastics", 59.

<sup>1</sup>Javier Uceda, "La sostenibilidad en arquitectura", en *La sostenibilidad en el proyecto arquitectónico y urbanístico* (Madrid, 2005), 7.

<sup>2</sup>Antonio Valero, "Energía y desarrollo social", en *La sostenibilidad en el proyecto arquitectónico y urbanístico* (Madrid, 2005), 32-57.

<sup>3</sup>Javier Uceda, "La sostenibilidad en arquitectura", 7.

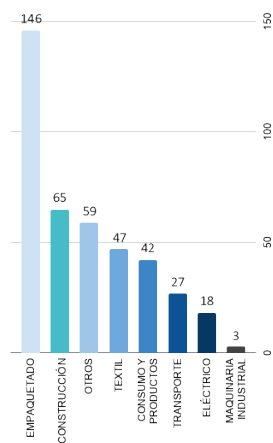


Figura 1. Producción de plástico según el sector industrial, en millones de toneladas por año (2015). El sector de la construcción ocupa el segundo lugar, solo por detrás de la industria del empaquetado.

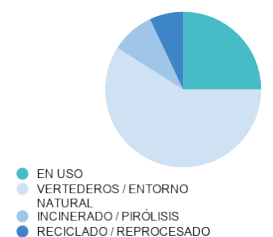


Figura 2. Destino de todo el plástico producido desde sus inicios hasta 2017 (el total estimado es de 9,2 billones de toneladas). El 60% ha terminado en el entorno natural.

Según un artículo en Science Advances, “el crecimiento de la producción de plásticos en los últimos 65 años ha dejado atrás sustancialmente a cualquier otro material manufacturado.”<sup>10</sup> Hasta que el resto del mundo adopte soluciones como hace Noruega, por ejemplo, que recupera actualmente el 97% de sus botellas de plástico gracias a un eficiente sistema de depósito en supermercados<sup>11</sup>, y cambie el modo de consumo de plásticos de un solo uso, debemos buscar estrategias que suavicen esta crisis. Porque, ¿nos hemos planteado a dónde van a parar estos residuos? ¿Qué pasa con el plástico que no se recicla, que es la mayor parte? ¿Y con el que sí se recicla? La figura 2 muestra qué ha sucedido con todo el plástico producido hasta 2017, mientras que la figura 3 expone el ciclo de vida del PET, cuyo final suele localizarse en los océanos.



Figura 3. Ciclo de vida del PET.

El problema es más grave en las comunidades que no cuentan con infraestructuras adecuadas de gestión de residuos, lo que obliga a la gente a acumular, quemar o enterrar su basura. El plástico quemado contamina el aire, mientras que la basura enterrada muchas veces termina llegando a los ríos durante las estaciones lluviosas, alcanzando finalmente los océanos.

<sup>10</sup>Roland Geyer, Jenna Jambeck y Kara L. Law, "Production, use and fate of all plastics ever made", *Sciences Advances* 3(7) (2017).

<sup>11</sup>Laura Parker, "Plastics: solutions", *National Geographic*, junio 2018, 90.

<sup>12</sup>El proceso de reciclaje más común produce fibras de poliéster a partir del PET, las cuales, utilizadas para confeccionar ropa, se desprenden durante los lavados volviendo a los flujos de agua y finalmente a los océanos.

## Derecho a vivienda

El derecho a una vivienda digna y adecuada se recoge en la Declaración Universal de los Derechos Humanos<sup>13</sup> y aún así millones de personas en todo el mundo viven en condiciones que están muy lejos de cumplir con los mínimos de seguridad, protección y confort deseables. Según un informe de Habitat for Humanity, son aproximadamente 1.6 billones de personas las que se encuentran en esta situación en 2017<sup>14</sup>. Y es que no se trata únicamente de disponer de cobijo o refugio. Una vivienda puede ser inadecuada cuando es una solución temporal, inasequible, inaccesible, o cuando no tiene acceso a los servicios y equipamientos suficientes.<sup>15</sup>

A esto se suma otro factor que está relacionado estrechamente con el cambio climático: los desplazamientos humanos debidos a desastres naturales. Según el Informe Mundial sobre Asentamientos Humanos de 2011<sup>16</sup>, se prevé que en 2050 haya unos 200 millones de desplazamientos debidos al cambio climático, frente a los 20 millones de 2008 debidos a catástrofes naturales repentinas. “A medida que el clima mundial cambia, la degradación medioambiental, las sequías y el aumento del nivel del mar resultantes podrían conducir a desplazamientos permanentes.” La consecuencia directa es el agravamiento del problema de la escasez de vivienda, al que habrá que hacer frente en los próximos años.

## Arquitectura y sostenibilidad, el reto del siglo XXI

Aunque últimamente se relaciona el concepto de sostenibilidad principalmente con la ecología y el medioambiente, no debemos olvidar que el desarrollo sostenible es aquel basado en un equilibrio entre lo social, lo económico y lo medioambiental. No obstante, es cierto que, si hasta ahora el modelo se visualizaba como una circunferencia dividida en tres partes iguales, la tendencia actual está modificando esa imagen (figura 4).

El reto de los arquitectos del siglo XXI es dar solución a los problemas mencionados, respondiendo a las necesidades de vivienda presentes y futuras desde una perspectiva de respeto al medioambiente. Se deberá explorar diferentes vías en busca de sistemas que produzcan un bajo impacto ambiental y consumo de energía, disminuyendo los residuos generados en el proceso constructivo y optimizando los costes. Porque en definitiva, cada decisión que tomemos debe encaminarse hacia una arquitectura sostenible.

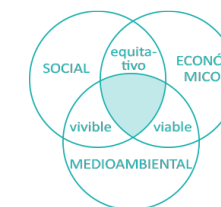


Figura 4. Modelo de desarrollo sostenible.

<sup>13</sup>ONU, Artículo 25, apartado 1 de la *Declaración Universal de los Derechos Humanos* (París, 1948).

<sup>14</sup>Sitio web Habitat for Humanity UK, "Building and renovating homes".

<sup>15</sup>Comité de Derechos Sociales de Naciones Unidas, "Observación general nº4" (1991).

<sup>16</sup>ONU Habitat, *Las ciudades y el cambio climático: Informe Mundial sobre Asentamientos Humanos* (2011).



# 03

## Reutilización de residuos en la arquitectura

*"Construir desde la reutilización obliga a modificar la manera de proyectar: se diseña a partir de lo que se tiene."<sup>17</sup>*

*Pablo Rey Mazón,  
basurama.*

Con lo visto hasta ahora, resulta innegable la trascendencia de responder a las necesidades funcionales y estéticas de las poblaciones más vulnerables respecto a su contexto, de forma económica y sostenible. Con el propósito de llegar a exponer soluciones arquitectónicas comprometidas con los problemas abordados, nos sumergimos en la exploración de una vía de construcción alternativa a lo que es habitual en el mundo desarrollado, utilizando materiales desechados.

## ¿Qué es el desecho?

Durante gran parte de nuestra historia la basura ha sido considerada como una consecuencia inevitable del desarrollo humano, que debía ser recolectada y enterrada. Con la industrialización, el volumen de residuos no ha hecho más que aumentar, desembocando en grandes desafíos para muchos países, que se han tenido que enfrentar a un reto para el que no estaban preparados. Los vertederos descontrolados, la compraventa de basura entre países, la concentración de plástico en los océanos... son solo algunas de las consecuencias de esta deficiente gestión.

Pero, ¿qué es en realidad el desecho? ¿Qué es la materia? ¿Por qué no adoptar una concepción alternativa de lo que es desecho? Según el arquitecto estadounidense Michael Reynolds, “la basura es un concepto inventado, solo existen recursos”.<sup>18</sup> Desde esta perspectiva, de repente tenemos una inmensa cantidad de recursos a nuestra disposición, listos para ser reutilizados. Recursos sin coste de producción, ni económico ni energético, que pasan de ser problema a ser solución.

Como apunta Antonio Valero, “no podemos continuar por mucho tiempo con un tipo de sociedad que basa su actividad en la conversión de riquezas naturales en desperdicios.”<sup>19</sup>

Al final, ser desecho no es una cualidad intrínseca de un objeto, sino una circunstancia fruto de una decisión más o menos consciente. Del mismo modo, podemos poner un objeto preexistente de nuevo en funcionamiento, alargando así su ciclo de vida. “Reutilizar materiales en la arquitectura que de otro modo serían considerados basura podría ser un motor para el desarrollo de la economía circular.”<sup>20</sup>

## ¿Reciclar o reutilizar?

Según el diccionario de la Real Academia Española, la definición de *reciclar* es la siguiente: “someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar.”<sup>21</sup> Desde hace años los medios de comunicación nos han vendido el reciclaje como la solución a la generación masiva de residuos de nuestra sociedad, pero la realidad

es que no es suficiente. Es habitual que los arquitectos utilicen ciertos productos reciclados en sus edificios, pero no se van a tener en cuenta en esta línea de investigación, ya que el proceso de transformación al que deben someterse los residuos para tener una nueva vida implica un coste energético y económico que los aleja de ser tan accesibles y ecológicos como nos gustaría.

Un concepto más interesante en esta línea, acorde a lo que aquí se plantea, es el de *upcycling* o **reutilización creativa**. Consiste en transformar un objeto sin uso o destinado a ser un residuo en otro de igual o mayor valor que pueda ser de utilidad, sin someterlo a procesos intermedios que cambien sus características originales. “Reutilizar los materiales y diseñarlos robustos para que sus ciclos de uso se multipliquen es más importante que reciclar o simplemente disponerlos en un vertedero por muy controlado que esté”, afirma Valero.

Un claro ejemplo de esta línea de trabajo asociada a la arquitectura en España son las actuaciones del colectivo Basurama<sup>22</sup>. Pero como ellos mismos indican, no se trata de un fenómeno nuevo. En lo que se refiere a reutilizar elementos constructivos de forma directa en nuestro país, la construcción tradicional en piedra y madera es pionera. Las vigas de madera o piedras labradas han sido elementos susceptibles de ser rescatados y puestos de nuevo en funcionamiento. Un ejemplo más afamado: la Mezquita de Córdoba, que también fue construida a partir de elementos de otros edificios.

Hay que tener en cuenta que la reutilización de objetos en la arquitectura también enfrenta dificultades. Por un lado, la disponibilidad de los materiales, y por otro, la adecuación de los mismos a los proyectos. Además, en algunos casos el desmontaje y el transporte desde lugares lejanos pueden suponer un coste y un consumo de recursos extra que idealmente deberían ser evitables.

## Materiales desechados en construcción

Cuando se buscan ejemplos de construcción low cost reutilizando otro tipo de materiales desechados hay un referente que acapara toda la atención, y ese es el anteriormente mencionado **Michael Reynolds**. En la década de 1970 dio un giro a su carrera como arquitecto y empezó a experimentar con objetos que encontraba en basureros tales como neumáticos, botes de aluminio y botellas de vidrio, buscando la forma de incluirlos en la edificación de viviendas ecológicas. Su objetivo era desarrollar un sistema constructivo que pudiera basarse en la reutilización de materiales, y diera lugar a



Figura 5. Earthship de Michael Reynolds.

<sup>22</sup>Ver actuaciones en [www.basurama.org](http://www.basurama.org)

<sup>17</sup>Pablo Rey Mazón, "La reutilización es el autostop de la arquitectura", Basurama. Texto escrito para la publicación de Caja de Herramientas, enero 2010.

<sup>18</sup>Michael Reynolds, *Earthship. How to build your own*, vol. 1 (Solar Survival Architecture, 1990).

<sup>19</sup>Antonio Valero, "Energía y desarrollo social", 35.

<sup>20</sup>Marina Ilíc y Magdalena Nikolic, "Drivers for development of circular economy - a case study of Serbia", *Habitat International* 56 (2016): 191-200.

<sup>21</sup>Real Academia Española, *Diccionario de la lengua española* (Madrid: Espasa Calpe, 1992), 1740.

viviendas autosuficientes energéticamente y perfectamente adaptadas al medio. Bajo este discurso medioambiental nacieron los *earthships*, que mezclaban dos conceptos atractivos: reciclaje y consumo nulo de materias primas y energías no renovables.



Figura 6. Trencadís realizado por Josep Maria Jujol en el banco corrido del Parque Güell, de Antoni Gaudí. 1913.



Figura 7. Villa Welpeloo.

<sup>23</sup>El *trencadís* es un tipo de aplicación ornamental del mosaico a partir de fragmentos cerámicos unidos con argamasa; característico de la arquitectura modernista catalana.

<sup>24</sup>Frank Kaltenbach, "¿Desecho, material reciclable o arte? Propósitos y atractivos del reciclado", *DETAIL: revista de arquitectura y detalles constructivos* 1 (2011): 6.

<sup>25</sup>Ismail Demir, "An investigation on the production of construction brick with processed waste tea", *Building and Environment* 41(9), (2006): 1274-78.

<sup>26</sup>A. Korjenic y otros, "Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources", *Energy and Buildings* 43(9), (2011): 2518-23.

<sup>27</sup>Paula Alvarado, "Lawyer turned architect builds recycled homes for people in need", *Design sustainable product design*, 24 de marzo de 2010.

Pero no es necesario recurrir a ejemplos con tan alto afán reivindicativo para mostrar la aplicación de esta idea. Gaudí, sin ir más lejos, introdujo de forma muy natural **restos cerámicos rotos** en sus obras, utilizando la técnica del *trencadís*<sup>23</sup> para crear mosaicos a partir de estas piezas, logrando un resultado asombroso y para nada forzado. También en la azotea de la Casa Milá (1910) se utilizan fragmentos de botellas de cristal verdes en lugar de azulejos, recubriendo algunas de las chimeneas.

Un paso más allá en esta línea estaría la **Villa Welpeloo en Enschede** (2009, Países Bajos) del estudio 2012Architecten. Este estudio de Róterdam es famoso por sus obras mezclando arte, arquitectura y supra-reciclaje. Para llevar a cabo este proyecto se dedicaron a buscar en *google maps* construcciones abandonadas en un radio de 15 kilómetros alrededor de la parcela donde pudieran recoger materiales que, de otra forma, habrían continuado siendo desecho. A partir de los elementos encontrados, e incluyendo también desechos generados por comercios e industrias cercanas, se terminó de diseñar la vivienda, cuyo exterior cuenta con un 60% de materiales recuperados, mientras que la proporción en el interior es del 90%. Sin embargo, aunque es un buen ejemplo de aprovechamiento de materiales ya existentes en la construcción, no cumple la condición económica deseada. Y es que, según la revista *DETAIL*, el precio bruto por metro cuadrado de la villa Welpeloo es de 2250€. "Debido principalmente a la alta proporción de trabajo manual, este tipo de reciclaje no es más ventajoso que la arquitectura convencional."<sup>24</sup> Pero que no lo sea en países industrializados donde el sector de la construcción es más inflexible, no significa que no pueda serlo en comunidades en desarrollo donde conseguir ciertos materiales resulta más costoso y la mano de obra es más barata.

Algunos investigadores se han centrado en estudiar el uso de **residuos de la agricultura** para este fin, principalmente en áreas rurales donde su disponibilidad es elevada. Por ejemplo I. Demir, quien investigó el rendimiento de ladrillos de arcilla optimizados con restos de té procesados,<sup>25</sup> o el estudio de A. Korjenic que proponía el uso de yute, lino y cáñamo para desarrollar un aislante térmico natural.<sup>26</sup> En las casas de botellas en las que se ha implicado Ingrid Vaca se ha intentado reutilizar también otros materiales de este estilo, como leche en polvo caducada.<sup>27</sup> En principio este tipo de residuo orgánico ya suele utilizarse para alimentar a los animales u otros fines, pero en casos en que vaya a incinerarse, se podría plantear primero si es posible destinarlo a otros usos como la construcción.

## Las primeras construcciones con botellas: el legado del vidrio

El primer referente documentado a nivel mundial de construcciones con botellas se remonta al año 1902. En la ciudad de Tonopah, perteneciente al estado de Nevada, el estadounidense **William F. Peck** erigió una casa utilizando 10.000 botellas de cerveza que fue demolida en 1980. Estas primeras casas se construyeron con botellas de vidrio, puesto que el PET todavía no se había inventado.

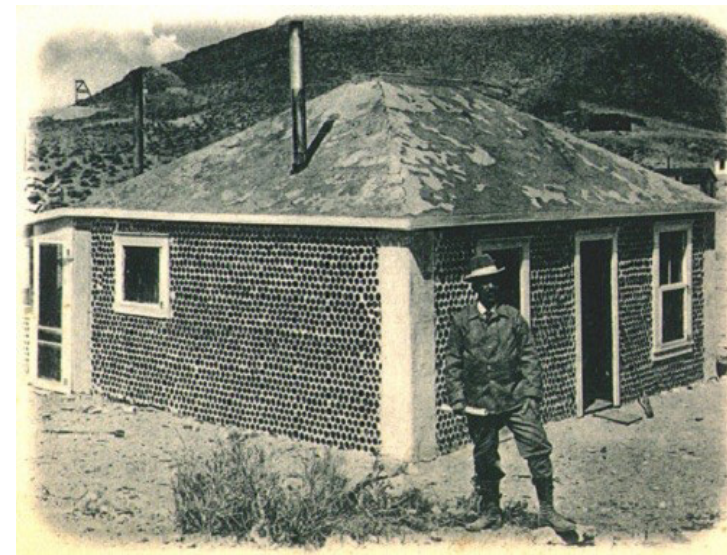


Figura 8. Primera vivienda construida con botellas, William F. Peck. 1902.

Aunque el objetivo es centrarnos en proyectos que utilizan las botellas como base de su sistema constructivo, cabe destacar otro tipo de obras en las que las botellas recuperadas tienen un papel decorativo o complementario. Así era en las *earthships* de Michael Reynolds, que se aprovechaba de los colores de las botellas en el diseño y de su transparencia para dejar pasar la luz (figura 9). Otro ejemplo de esto es el muro de botellas del **Restaurante Morimoto de Tadao Ando**, realizado en Nueva York en 2005. Para crear este muro, que da continuidad a las dos plantas del restaurante, se utilizaron 17400 botellas PET de medio litro las cuales, rellenas de agua y luces LED, producen efectos visuales interesantes. De nuevo, que un objeto sea residuo o un recurso aprovechable depende únicamente del papel que estemos dispuestos a otorgarle.



Figura 9. Botellas en el muro de una *earthship* de Michael Reynolds.

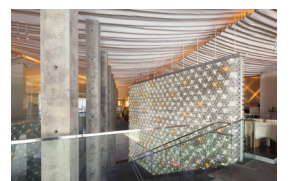


Figura 10. Muro decorativo de botellas de Tadao Ando.



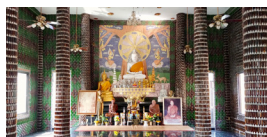


Figura 11. Exterior, pasarela e interior del templo Wat Pa Maha Chedi Kaew.



Figura 11. Templo Wat Pa Maha Chedi Kaew.

También con botellas de vidrio se realizó el **templo Wat Pa Maha Chedi Kaew** en el año 2007 en Tailandia, el cual, siendo la edificación que más botellas contiene actualmente, pertenece a la categoría de edificios hechos con un marcado carácter de concienciación medioambiental.

Se utilizaron más de un millón de botellas en su construcción, que fue promovida por monjes budistas. Estos buscaban crear conciencia mediante el proceso de recolección de las botellas de vidrio verde y ámbar, mostrando cómo con ellas se podía crear en este caso un templo funcional y bello.<sup>28</sup> Del mismo modo que este proyecto, una parte de las viviendas construidas con botellas PET que se van a mencionar tiene esa vocación de llamada a la responsabilidad contra la cultura de “usar y tirar”.

<sup>28</sup>El País, "Templo budista hecho con botellas reusadas", 2009.

# 04

## Botellas de plástico como material de construcción

*"Si los arquitectos pudieran incorporar de manera segura la mayor parte de este material [plástico] en nuevas aplicaciones de construcción, sería uno de los logros más importantes de la humanidad en la restauración ecológica global."*<sup>29</sup>

*Blaine Brownell*

A continuación vamos a descubrir cuáles son las características de un material como el PET que lo hacen apto para ser utilizado en la construcción, conocer los problemas en cuanto a su eliminación para darnos cuenta de que alargar su vida útil de la manera propuesta es una forma de dar solución al problema, y las motivaciones más recurrentes detrás de este tipo de proyectos. Veremos cómo surgió la técnica de construcción con botellas; aunque personas diferentes en distintas partes del mundo han llegado de forma espontánea a soluciones parecidas, hay una en concreto que es la inspiración detrás de la mayoría de casos que existen en la actualidad. Y por último, encuentro necesario mostrar que las casas de botellas no son ya algo anecdótico; existen miles de ejemplos construidos en el mundo y cada vez más estudios que buscan estandarizar este sistema constructivo, por lo que las cifras van a seguir aumentando. Al menos, hasta que las botellas de plástico de usar y tirar sean sustituidas para siempre en nuestro irresponsable sistema de consumo.

<b>NOMBRE:</b>
Polietileno tereftalato
<b>FÓRMULA MOLECULAR:</b>
C10H8O4
<b>PROPIEDADES:</b>
1. Material transparente o blanquecino.
2. Densidad 1.33 gm/cm3
3. Insoluble en agua.
4. Resistente al calor y químicamente estable. Alta resistencia al desgaste y la corrosión.
<b>USOS:</b> Contenedor de bebidas, contenedor de comida, fibras de ropa o alfombras, algunos botes de gel, champú y enjuague bucal.

Figura 13. Ficha de características del PET.

<sup>29</sup>Blaine Brownell, "Recycled plastic building products to save our planet", *ARCHITECT*, 27 de septiembre de 2018.

Blaine Brownell es arquitecto y profesor en la Universidad de Minnesota, autor de los libros *Transmaterial* en los que propone un "Catálogo de materiales que redefinen nuestro entorno."

<sup>30</sup>Emily Arnold y Janet Larsen, "Bottled water - Pouring resources down the drain", *Earth Policy Institute*, 2 de febrero de 2006.

## La botella de plástico

Las botellas de plástico son un elemento que se encuentra en grandes cantidades en prácticamente todos los rincones del mundo, ya sea como recipiente contenedor de bebidas o, lo que aquí nos preocupa, convertido en residuo. Pero, ¿cómo hemos llegado a la situación actual? ¿En qué momento hemos dejado que el plástico, y en concreto las botellas de PET, se hayan multiplicado y descontrolado hasta el punto de ser consideradas una amenaza para el medioambiente? En la siguiente línea de tiempo (figura 14) se muestra cómo ha evolucionado la producción y uso de este material. Si tenemos en cuenta que la primera botella de plástico fue creada en 1973, resulta sorprendente ver cómo en menos de 50 años se ha llegado a las cifras presentes.

A pesar de la impopularidad actual de las botellas de plástico, no es cierto que toda su repercusión haya sido negativa. Por un lado, han facilitado el acceso a agua potable a poblaciones que tienen difícil su obtención, lo cual resulta clave en su bienestar y desarrollo. Pero por otro, también ha aumentado la demanda de **agua embotellada** en lugares en los que se puede beber agua del grifo sin problema, consumiendo energía y generando de esta forma basura innecesaria. Como Arnold y Larsen explican en un artículo para Earth Policy Institute, "El agua embotellada no es la respuesta en el mundo industrializado, ni resuelve los problemas de los 1.1 billones de personas que carecen de un suministro seguro. Mejorar y ampliar los sistemas existentes de tratamiento de agua y saneamiento sería lo mejor para proporcionar fuentes de agua seguras y sostenibles a largo plazo."<sup>30</sup>

Una de las principales **cualidades** del plástico es que es virtualmente indestructible, lo cual supone una gran ventaja para ciertas aplicaciones, pero al mismo tiempo es la causa de que haya tantos problemas con su eliminación. Al no ser biodegradable, en lugar de descomponerse se acumula en vertederos o en el medio natural. Esto, unido a que está compuesto por químicos tóxicos, hace que cause grandes daños al medioambiente tanto durante su producción como en la gestión tras su vida útil.

1941	PET producido por primera vez. Patentado como polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickinson.
1950	Despega la producción de plástico. Se producen 2,3 millones de toneladas.
1952	PET usado como película para envasar alimentos.
1955	Auge de la cultura de usar y tirar. Más del 40% del plástico es usado solo una vez.
1973	<b>Primera botella de PET (de Coca Cola).</b>
1975	Comienza la comercialización de sodas en PET.
1993	Se producen 162 millones de toneladas de plástico.
1999	Se consumen 98 billones de litros de agua embotellada.
2000	Primeras construcciones con botellas de plástico.
2004	Se consumen 154 billones de litros de agua embotellada
2015	Se producen 448 millones de toneladas de plástico. Se desechan 40,5 millones de toneladas de PET.
2017	Coca Cola produce 128 billones de botellas PET al año.
2050	Se prevé que habrá 12 billones de toneladas de plástico desechado en el medio natural.

Figura 14. Línea de tiempo: producción y uso del PET.

## Problemas con su reutilización y reciclaje

Cuando una persona rellena una botella de agua para volver a utilizarla tras su primer uso, suceden dos cosas. Primero, las bacterias de sus manos o su boca se acumulan fácilmente en el material si no es lavado convenientemente entre usos. Y segundo, el plástico se desgasta con el uso, al lavarlo con agua caliente... y esas pequeñas roturas son otro lugar idóneo para albergar bacterias, con sus consecuentes riesgos para la salud.<sup>31,32</sup> Por ello no es conveniente **reutilizar** las botellas para su uso original; no están pensadas para ello.

Se podría llegar a la conclusión entonces de que el mejor destino para las botellas de plástico es el **reciclaje**, pero esto también tiene sus inconvenientes. Desde el coste económico, hasta el trabajo adicional que hay que realizar. Además precisa utilizar energía extra para transformar el material e incluso mezclarse con plástico nuevo; no se trata de un proceso limpio, puesto que durante el mismo se producen residuos y se contamina el aire y el agua. Y tras todo ello, el plástico resultante sería generalmente de una calidad inferior al original.

<sup>31</sup>BBC Mundo, "¿Es seguro reutilizar las botellas de agua?", BBC News Mundo, 1 de octubre de 2015, sección Salud.

<sup>32</sup>Oliphant, Ryan y Chu, "Bacterial water quality in the personal water bottles of elementary students", *Canadian Journal of Public Health. Revue canadienne de santé publique* 93 (1 de septiembre 2002): 366-67.

De todas formas, lo que no se cuestiona es que para realizar un correcto reciclaje se necesita un **sistema de gestión** diseñado a medida, del que carecen la mayor parte de países en vías de desarrollo, lo cual dificulta que el reciclaje sea una solución inmediata en estos lugares.

Al final, la estrategia preferible para reducir la contaminación ocasionada por el plástico sería disminuir de forma significativa su producción y reutilizar el existente, evitando, eso sí, el sector alimentario.

**Beneficios de su uso en la construcción**

El objetivo del estudio del uso de botellas de plástico como ladrillos para construir es aprovechar el mayor inconveniente del plástico, que es su condición de no ser biodegradable, y convertirlo en virtud. La figura 15 muestra la comparación entre muros hechos de distintos materiales: bloques cerámicos o de cemento, adobe y botellas.<sup>33</sup>

Entre las **características** principales del PET que lo convierten en apto para construir, y los beneficios respecto a otros materiales convencionales, estarían las siguientes:

- Alta durabilidad del material. Se estima que una botella PET puede tardar hasta 350 años en degradarse.
- Resistencia al desgaste y la corrosión.
- Resistencia al calor y la electricidad.
- Flexibilidad, al no ser un material frágil se reducen los residuos en el proceso de construcción.
- Reducción significativa de costes de material en comparación con la construcción tradicional.
- Puede dar lugar a un buen aislamiento térmico dependiendo del relleno de las botellas.
- Transparencia, puede ser utilizado para dejar pasar la luz.

**Beneficios** adicionales de los sistemas de construcción con botellas:

- Gestión de basura y limpieza del entorno.
- Creación de empleo para distintos niveles de cualificación.
- Concienciación medioambiental, educación.
- Reducción de emisiones de carbono a la atmósfera.
- Amplia variedad de aplicaciones (viviendas, escuelas, parques, tanques de agua...)
- Buen comportamiento frente a sismos.

FACTORES	BLOQUE CERÁMICO / HORMIGÓN	ADOBE	BOTELLAS PET
Tiempo y velocidad de ejecución	-Construcción más lenta	-Construcción más lenta	-Construcción rápida -Puede llevar más tiempo recolectar el material
Costes de material	-Materiales más caros	-Recursos naturales	-Recurso barato -Ahorro en cemento, agua...
Costes de transporte	-Mayor; hay que traer gran volumen de material de lejos	-Menor; el material principal se encuentra cerca	-Menor; el material principal se encuentra cerca
Costes de ejecución	-Mayor, por coste de recursos humanos	-Menor, permite la autoconstrucción	-Menor, permite la autoconstrucción
Resistencia y capacidad de carga	-Alta resistencia	-Baja resistencia a compresión	-Buena resistencia
Resistencia a terremotos	-Estructura pesada -Posible pérdida y rotura de material	-Buena si se construye adecuadamente	-Buena -Se evita la caída de escombros
Resistencia al fuego	-Alta	-Alta; material incombustible	-Aceptable -El PET se derrite pero no propaga el fuego
Resistencia a lluvias	-Alta, buena resistencia a la humedad	-Baja resistencia a la humedad	-Alta, gracias al plástico
Generación de residuos	-Gran volumen, sin uso	-Bajo volumen	-Mínima, se reutiliza un residuo
Flexibilidad	-Baja, material frágil	-Baja	-Alta
Huella ecológica	-Alta. Mayor consumo de energía y generación de escombros	-Baja -Los materiales naturales pueden volver a su estado previo	-Baja -El plástico volvería a ser un problema, pero podría usarse en una segunda construcción

Figura 15. Tabla de comparación entre muros hechos de distintos materiales.

<sup>33</sup>M. V. Shoubi, M. V. Shoubi y A. S. Barough, "Investigating the application of plastic bottle as a sustainable material in the building construction", *USETR* 2(1) (2013): 28-34.



## Las primeras viviendas con botellas de plástico

No es fácil determinar cuál fue la primera vivienda construida con botellas de plástico. Se podría decir que ha habido varios pioneros que, sin conocer otros casos, tuvieron la misma idea en distintos lugares. Disponían del material, tenían una necesidad, y le dieron solución de manera creativa.

Las motivaciones que generalmente impulsan a individuos a adoptar este tipo de solución son diversas, pero según lo observado se pueden agrupar en tres categorías. La principal es la necesidad elemental de **vivienda económica** para personas con bajos recursos, que encuentran en estos sistemas un remedio a su situación o una posibilidad de mejora de su calidad de vida. Otra motivación importante es la intención de concienciación y fomento del **compromiso con el medioambiente** que tienen algunos proyectos, centrados en ensalzar el valor del reciclaje y la reutilización, y hacer consciente a la gente de que los residuos que entre todos generamos son un problema que no va a desaparecer solo. Aunque al final todos estos casos acaban teniendo ese efecto reivindicativo y se convierten en cierta forma en modelos, hay algunos creados directamente para ello, como la "Plastic Bottle Village" de Bocas del Toro, en Panamá, de la que hablaremos más adelante. Y por último, otro aliciente que surge de la necesidad de refugio en un momento determinado, es la posibilidad de construcción rápida que ofrecen este tipo de sistemas, que lo hacen interesante para realizar **construcciones de emergencia** tras desastres naturales, por ejemplo, con un carácter más temporal.

Es curioso cómo las primeras personas que se propusieron utilizar las botellas para sus viviendas en entornos en los que esta opción era desconocida, cuentan historias parecidas, en las que la gente de su entorno les trataba de locos por probar algo que no habían visto hacer a nadie antes. Hasta que tuvieron éxito.

### La casita encantada de María Ponce, en EL SALVADOR (2005)

Es el caso de María, una mujer de El Salvador que, a sus 70 años, perdió su casa de adobe tras el terremoto que sacudió el país el 13 de enero de 2001, destruyendo más de 200.000 viviendas<sup>34</sup>. Sin dinero para una nueva casa, vio en las botellas desechadas que se acumulaban por todas partes una oportunidad. Según cuenta ella, la

<sup>34</sup>Verde Noticias, "Una casa de botellas, símbolo de reciclaje, encanta a salvadoreños", web Verde Noticias, 17 de marzo de 2017.

idea le vino en un sueño; visualizó una casita hecha con botellas de plástico en una montaña y decidió construirla.<sup>35</sup> Tardó un mes y medio en reunir las botellas, y luego tres meses en construir ella sola la casa, de unos 10 m<sup>2</sup>. Utilizó un sistema constructivo diferente a los más habituales en estos casos, ensartando las botellas vacías en vertical en varas de bambú semienterradas en el suelo. El techo a dos aguas, hecho también con botellas, se recubre con una lámina de zinc para proteger la estancia de la lluvia, y el suelo se reviste con los coloridos tapones pintados a mano de las botellas reutilizadas (figura 17).

"Es porque a todos les encanta, por eso es encantada", dijo Doña María sobre su casita en una entrevista recogida en Verde Noticias<sup>36</sup>. Ahora su vivienda es más resistente, bonita y original que antes, y recibe muchos visitantes por este motivo. Además, con el tiempo, se ha hecho famosa y se ha convertido en un símbolo del reciclaje en su país.



Figura 16. María Ponce junto a su casa, en El Salvador.

### La casa del profesor Tomislav Radovanovic, en SERBIA (2005)

Aunque en Europa no son tan comunes este tipo de construcciones, principalmente porque existen mejores sistemas de gestión de residuos plásticos y el sector de la construcción está más consolidado, también se puede encontrar algún ejemplo. Como el de este profesor serbio, que con 13.500 botellas y la ayuda de sus estudiantes construyó su casa soñada para retirarse, de 60 m<sup>2</sup>. Se sirve de una estructura convencional de pilares y vigas de hormigón armado sobre una cimentación también de hormigón, que completa con muros de botellas rellenas de tierra apiladas en horizontal.<sup>37</sup> La tipología y distribución de la vivienda en este caso no son especiales por estar hecha de un material distinto, sino que es éste el que se adapta a los estándares de la vivienda convencional.

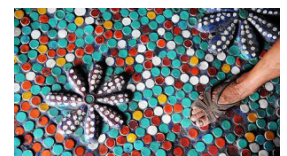


Figura 17. Suelo hecho con tapones de botellas en la casita de María Ponce.

<sup>35</sup>El País, "Una 'casita encantada', armada con botellas, causa sensación", periódico El País de Cali, 8 de abril de 2005, sección El Salvador.

<sup>36</sup>Verde Noticias, 2017.

<sup>37</sup>El Clarín, "Una hecha solamente con botellas de plástico", periódico El Clarín, 28 de agosto de 2007, sección Curiosidades.



“La casa es confortable y prácticamente no me ha costado nada”, declaró según el periódico El Mundo, y dijo además que “en caso de seísmo, preferiría estar en esta casa que en un edificio en ladrillos”.<sup>38</sup>



Figuras 18 y 19. La casa de Tomislav Radovanovic, en Serbia.

### La Casa Ecológica de Botellas en Puerto Iguazú, ARGENTINA (2000)

Esta casa es uno de esos ejemplos que pretende ser un referente ecológico e incluso crear escuela, transmitiendo la formación necesaria para que más gente pueda construirse una vivienda de botellas. La idea surgió casi por casualidad, cuando Alfredo Santa Cruz, en plena crisis social y económica en Argentina, decidió construir una casita de botellas para que jugara su hija pequeña. Al ver el buen resultado, se dio cuenta de que podía hacer así una vivienda real. Utilizó 1200 botellas de plástico para conformar los muros y alrededor de 1300 tetrabricks para el techo, y se propuso fabricar todos los elementos complementarios, tales como escaleras, mobiliario, decoración... con más botellas y otros materiales reciclados (chapas, cajas de CDs, neumáticos...).<sup>39</sup> Su intención era demostrar que cualquiera podía construirse su propia vivienda y aquello que necesitara en esa época de crisis gracias a los materiales rechazados. A partir de entonces se dedicó a perfeccionar el sistema y enseñárselo a otros de manera desinteresada, tanto en su localidad como en otros países, y ahora hay más de 76 casas levantadas siguiendo su técnica por toda Latinoamérica.



Figura 20. Detalles de la Casa Ecológica de Botellas.

<sup>38</sup>El Mundo, "Un profesor jubilado serbio promueve la construcción alternativa entre sus ex alumnos", periódico *El Mundo*, 27 de agosto de 2007.

<sup>39</sup>Blog Magia en el Camino, "La casa de botellas en Puerto Iguazú", <https://magiaenelcamino.com.ar/la-casa-botellas-puerto-iguazu.html> (consultado el 6 de noviembre de 2019).

tipo de bebidas.<sup>40</sup> En ocasiones se añade también la presencia de turismo irresponsable en el territorio, lo que alimenta el problema de los residuos.



Figura 20. Entrada de La Casa Ecológica de Botellas, en Argentina.

### Las bases del sistema constructivo con botellas

De lo expuesto hasta ahora se puede intuir que la construcción con botellas no se basa en un sistema único, sino que existen variaciones respecto al mismo. El relleno de las botellas, la disposición de las mismas o los materiales constructivos complementarios son factores que influyen en la configuración final de la estructura. Los condicionantes climáticos y otras circunstancias respecto al contexto también pueden tener implicaciones en el desarrollo de los sistemas.

#### La técnica ECOTEC, de Andreas Froese

Aunque personas diferentes en distintas partes del mundo han llegado de forma espontánea a soluciones parecidas, tanto de forma práctica como teórica, hay una en concreto que es la inspiración detrás de la mayoría de casos que existen en la actualidad. Ese es Andreas Froese, creador de la técnica Ecotec en el año 2001 en Honduras.

Ecotec se define como un sistema de autoconstrucción basado en el aprovechamiento de las botellas PET, que al ser llenadas de tierra, escombros u otros plásticos, se utilizan en la construcción de casas e

<sup>40</sup>Alessa Bennaton, "Reciclando plástico... construimos!", *EcoHabitar* 19, otoño 2008, 34-36.

infraestructuras. Se trata de una propuesta creativa, ética y ecológica, utilizada en más de 300 obras distribuidas por todo el mundo según los datos de la empresa en 2018. Ecotec no es solo el sistema constructivo, sino también el proceso de formación en la construcción y la integración de una comunidad trabajando por un objetivo común. Se trata de un sistema flexible, que permite ser adaptado a las técnicas de construcción tradicional de cada lugar, por ejemplo en la elaboración de muros o al combinar materiales locales.

Los **materiales** básicos necesarios para construir con esta técnica son:

- Botellas de PET en buen estado.
- Tierra, arena o escombros del lugar para rellenar las botellas.
- Cuerdas de plástico o nylon para atar los cuellos de las botellas entre sí.
- Mezcla de cemento
- Tierra con alto componente de arcilla para hacer una mezcla conglomerante.

Se intentará que los materiales complementarios utilizados en puertas, ventanas, suelos, revestimientos, cubierta... sean materiales reutilizados.

El **proceso de construcción** propuesto es el siguiente<sup>41</sup>:



Figura 22. Andreas Froese.

-El trabajo previo consiste en la recolección del material y el llenado de las botellas con un embudo (que se puede crear cortando la base de otra botella), de forma que queden bien compactas cuando se cierran con el tapón. Los ladrillos de botellas se someten a una prueba de resistencia a compresión antes de ser colocados, para garantizar la calidad de la estructura.

-Se necesita una cimentación que soporte al menos el peso propio de los muros de botellas. Normalmente será una solera de hormigón. Se recomienda construir un sobrecimiento que aisle de la humedad del terreno. Puede ser de ladrillo, con algún impermeabilizante.

-Se dispone una primera capa de mortero de arena y cemento para nivelar la base. Sobre ella se coloca la primera hilada de botellas, en horizontal. Sobre éstas irá la segunda hilada, desplazada para que cada botella se sitúe en el espacio medio de las anteriores, y así sucesivamente. Entre hiladas se coloca mezcla aglomerante para asentarlas.

-Para las puertas y ventanas se pueden disponer dinteles de madera o metálicos a la altura que corresponda.

-Las botellas se van atando entre sí con la cuerda de plástico, primero por la cintura y después por los tapones, formando una malla que sostendrá el revestimiento de la pared (Figura 21). Los espacios vacíos entre botellas se rellenan con escombros de tamaño medio.

-En construcciones de mayor tamaño que necesiten pilares, pueden construirse con botellas o utilizar sistemas de hormigón o madera complementarios, que deben anclarse a la cimentación y a la viga de soporte de la cubierta. Para crear columnas de botellas éstas se colocan de forma radial con el tapón hacia el centro, formando un anillo que se va atando en cada capa. En el centro se colocarán los refuerzos necesarios para soportar la cubierta.

-Se pueden realizar distintos tipos de cubierta dependiendo del presupuesto. Desde láminas de zinc a cubiertas verdes, o incluso bóvedas hechas con botellas vacías.

Ante la necesidad de realizar un **estudio** del comportamiento de este sistema, Froese colabora en 2012 con la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia, realizando varias pruebas de resistencia con distintos rellenos para las botellas. Entre otros, se hace un ensayo de compresión simple de distintas botellas para determinar la carga máxima soportada, cuyos resultados figuran en la Tabla 1. Se utilizan botellas de 600, 1500 y 2000 ml, dispuestas en horizontal y con los tapones puestos. Según esta prueba, las botellas pequeñas son las que soportan mayor carga (y por ello son las elegidas para la construcción de los pilares). Asimismo, se comprueba que el relleno que funciona mejor de los estudiados es el escombros, siendo lo más desfavorable dejar las botellas vacías.

Del estudio se concluyó que “el sistema tiene características de estabilidad para ser empleado en construcciones de bajo costo y post desastre”, y que los valores de carga máxima de las botellas rellenas de escombros “están en el orden de magnitud de las fuerzas resistentes de un ladrillo de arcilla cocido con perforaciones horizontales”<sup>42</sup>.

En la entrevista realizada a Andreas Froese en “Hablemos de Arquitectura”, éste afirmaba que hasta entonces sus construcciones no habían sufrido problemas estructurales y que incluso habían tenido un buen comportamiento frente a desastres naturales.

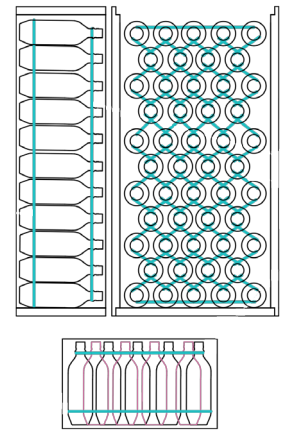


Figura 21. Cómo atar las botellas entre sí para mejorar la estabilidad y fuerza del muro.



Figura 22. Imagen del atado de las botellas.

<sup>41</sup>Datos extraídos de las siguientes fuentes:

Página web oficial de Andreas Froese [www.eco-tecnologia.com](http://www.eco-tecnologia.com)

Daniel Ruiz, Cecilia López, Eliana Cortes y Andreas Froese, "Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra", *Apuntes* 25(2) (Bogotá, 2012): 292-303.

Alessa Bennaton, "Reciclando plástico... construimos!", *Eco-Habitar* 19, otoño 2008, 34-36.

<sup>42</sup>Ruiz, López, Cortes y Froese, "Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra", 302.





Figura 23. Ejemplo de Ecobrick, EcoBlock simple creado por The EcoBrick Exchange, y unión de dos EcoBlocks.

## El EcoBrick y otros tipos de “eco-ladrillo”

Los sistemas de construcción con botellas desechadas se basan en un mismo principio: la concepción de la botella como ladrillo. No todos disponen las botellas de la misma manera, unos las rellenan de tierra y otros aprovechan para introducir en ellas más residuos no biodegradables... pero la raíz es la misma. Otros rellenos utilizados son el polvo de escombros, el agua, o dejar las botellas vacías.

Quizá lo que parece más inusual es rellenar las botellas con más basura, pero se trata de una práctica bastante extendida que da una utilidad a los residuos en lugares en los que éstos se han convertido en un problema. A este tipo de ladrillo de plástico se le conoce con el nombre de EcoBrick.

Un **EcoBrick** es una botella PET rellena con otros residuos plásticos no biodegradables, comprimidos en su interior. Es importante no introducir nada orgánico, y que al rellenar las botellas no queden huecos de ningún tipo, para que funcionen correctamente. La basura utilizada es recogida en las inmediaciones de los lugares de construcción de los proyectos, con ayuda de la comunidad. Construir con ecobricks ayuda a liberar a una comunidad de residuos plásticos a un nivel superior, a reducir los costes de material de los proyectos y a crear oportunidades de reflexión sobre cuestiones medioambientales a nivel local. Sin embargo, al ser menos resistentes que otros tipos de eco-ladrillos, éstos no deberían usarse en los elementos estructurales de una construcción, sino únicamente como relleno de muros.

Un ejemplo de proyectos que utilizan este tipo de elemento son las escuelas que promueve la organización **Hug it Forward** en Guatemala. Según su experiencia, el coste medio de cada aula construida con ecobricks es de entre un 100% y un 200% más barato que otras escuelas construidas con bloques de cemento, que es el método al que sustituiría.<sup>43</sup>

Un paso más allá en la evolución de la construcción con eco-ladrillos es el sistema diseñado por la organización **The EcoBrick Exchange** de Sudáfrica, que trabaja también en la construcción de escuelas. Detectaron un problema en la manera en que se disponían las botellas, ya que si se quería renovar o demoler un edificio los ecobricks serían también destruidos, liberando la basura que contenían. Por ello desarrollaron el **EcoBlock**, un conjunto de diez EcoBricks encajados en un tablón y unidos con alambre, dispuestos hacia arriba y hacia abajo de forma alterna, de manera que puedan unirse a otro bloque de las mismas características con facilidad, a modo de piezas de Lego (figura 23). Este sistema permitiría realizar una construcción completamente en seco, añadiendo un marco de acero y tableros ignífugos para garantizar su

estabilidad y seguridad. Así, en los supuestos anteriormente señalados, los materiales pueden ser fácilmente reutilizados, haciendo que el EcoBrick pueda tener múltiples vidas.

## Estudios teórico-prácticos e investigaciones

Son ya numerosos los investigadores a los que les ha interesado el concepto de utilizar botellas de plástico como unidades constructivas, y han intentado proponer un sistema que funcione y pueda ser repetido. Algunos se han basado en ejemplos construidos y otros han partido de cero.

En relación a los **EcoBricks**, en 2014 se llevó a cabo un estudio experimental de sus propiedades, centrado en su capacidad de compresión y sus cualidades de transmisión luminosa y acústica. Éste señaló que podían tener múltiples aplicaciones en la construcción, más allá de las mencionadas.

Un equipo de expertos de Reino Unido y Nigeria trabajó con emprendedores de la localidad nigeriana de Paipe para construir un prototipo de vivienda funcional y sostenible en comunidades de bajos recursos, del que hablaremos más adelante. En su estudio<sup>44</sup> expresan la importancia de la **participación de la comunidad** en el proceso de diseño, para entender su cultura, patrones de vida, conocer los materiales locales y que estén satisfechos con el resultado. Para la población local era importante conseguir un acabado convencional, lo cual determinó gran parte de las decisiones constructivas y aumentó el coste del prototipo (el cual aún así costó alrededor del 35% de un edificio similar de bloques de arena y cemento). Se llevó a cabo también un análisis del **impacto** de las botellas usadas considerando todas las etapas de su ciclo de vida (figura 25), en comparación con un bloque de hormigón. Aunque hacen falta seis botellas para cubrir la misma superficie de muro que un bloque, las botellas resultaron ser una opción más ecológica.

Otra de las cuestiones que interesan a los investigadores es el **aislamiento térmico**, que es mejor cuando las botellas están rellenas de aire (comparando con arena seca y arena saturada), según un estudio de propiedades estructurales y térmicas de ladrillos de botellas en Bangladesh (2016)<sup>45</sup>. Con la técnica utilizada por ellos, comprobaron que la fuerza de un muro de botellas era seis veces menor que la de otro hecho con bloques tradicionales, pero aún así cumplía como material de construcción adecuado para particiones. A la misma conclusión respecto al aislamiento térmico habían llegado Mansour y Ali (2015)<sup>46</sup> en un estudio similar, comparando las muestras de eco-ladrillos con bloques de construcción tradicionales de la península Arábiga (Figura



Figura 24. Casa típica en Paipe (A) y prototipo construido con botellas (B).

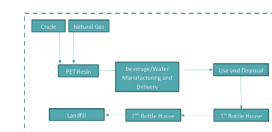


Figura 25. Ciclo de vida de las botellas PET usadas en construcción.

<sup>43</sup>Información recogida de la página web [www.hugitforward.org](http://www.hugitforward.org) y del "Bottle School Manual" proporcionado por ellos.

<sup>44</sup>Muyiwa Oyinola y otros, "Bottle House: A case study of transdisciplinary research for tackling global challenges", *Habitat International* 79 (2018): 18-29.

<sup>45</sup>Z. Muyen, T. Barna y M. Hoque, "Strength properties of plastic bottle bricks and their suitability as construction materials in Bangladesh", *Progressive Agriculture* 27(3) (2016): 362-68.

<sup>46</sup>A. Mansour y S. A. Ali, "Reusing waste plastic bottles as an alternative sustainable building material", *Energy for Sustainable Development* 24 (2015): 79-85.

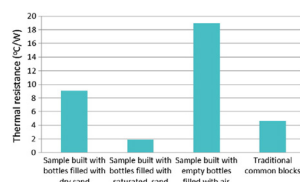


Figura 26. Resistencia térmica de los tres ladrillos de botellas y los bloques de hormigón hueco tradicionales del lugar (Paipe, Nigeria).

26). En el caso anterior, para el estudio de Paipe, los resultados indicaron que llenar algunas botellas con agua en lugar de tierra podría aumentar los beneficios térmicos.

Como conclusión común, parece que los estudios coinciden en que se puede construir con botellas de plástico utilizando distintos sistemas y rellenos para éstas, y en algunos casos tienen beneficios sobre las construcciones tradicionales más allá de la facilidad de edificación y el bajo coste económico, por ejemplo en cuanto a estabilidad frente a seísmos, resistencia o confort térmico.

## El mapa de las casas con botellas

Los casos de construcciones con botellas PET son muy numerosos y se encuentran distribuidos en diversos rincones del mundo. En este mapa se muestran aquellos que se han mencionado y los que se han considerado más relevantes para estudiar y comparar, pero no son los únicos. En el anexo II “Índice de casos: construcciones con botellas de plástico” se incluye un mapa más completo, y un enlace a otro mapa online creado con la intención de registrar el número máximo de construcciones posibles, que puede ser completado por otros usuarios.

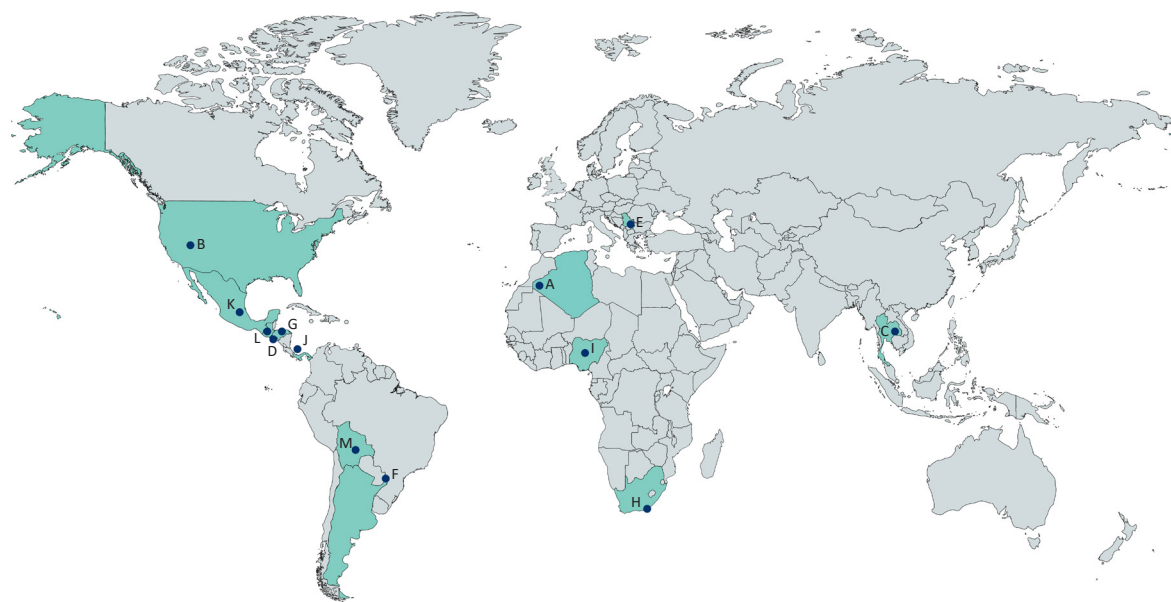


Figura 27. Mapa de las construcciones con botellas mencionadas.

Viviendas para refugiados saharauis en Tinduf, ARGELIA	A
Primera casa de botellas en Tonopah, ESTADOS UNIDOS	B
Templo budista de botellas de vidrio en Sisaket, TAILANDIA	C
La casita encantada de María Ponce, EL SALVADOR	D
La casa del profesor Tomislav Radovanovic, SERBIA	E
La Casa Ecológica de Botellas en Puerto Iguazú, ARGENTINA	F
Escuelas de Hug it forward, GUATEMALA	G
Escuela Penguin de The EcoBrick Exchange, SUDÁFRICA	H
I Prototipo de vivienda en Paipe, NIGERIA	I
The Plastic Bottle Village en Bocas del Toro, PANAMÁ	J
Viviendas post desastre de VIEM MX, MEXICO	K
Proyectos de Ecotec, HONDURAS	L
Viviendas de Ecotec e Ingrid Vaca en Warnes, BOLIVIA	M

# 05

## Análisis de casos: Viviendas para refugiados saharauis en Tinduf

*"¿Por qué en el desierto, cuando me siento en el suelo de una casa construida con barro, o de una jaima hecha con pelo de camello, me siento tan cómodo? Un edificio debe, sobre todo, adaptarse a los humanos; el bienestar de sus ocupantes debe ser primordial."<sup>47</sup>*

*Tateh Lehbib Breica*

Tateh Lehbib es una de esas personas que, aprovechando las botellas de plástico desechadas que abundaban en su localidad, ha diseñado un innovador sistema constructivo capaz de hacer frente a las difíciles condiciones de vida del desierto. Se ha elegido este proyecto como hilo conductor y referencia respecto a la cual comparar el resto de casos, puesto que es uno de los más completos, coherente en su planteamiento y desarrollo, y manifiesta una visión integral de los problemas que enfrenta. Tateh propone un sistema de construcción que realmente mejora de la calidad de vida de las personas a las que va dirigido, en un lugar en que los medios son sumamente escasos. La intención es conocer estas viviendas y llegar a conclusiones en cuanto a su impacto, pudiendo compararlas con otras y descubriendo los retos presentes y futuros de este tipo de construcciones.

## **La importancia del contexto**

Cuando hablamos anteriormente del derecho de toda persona a una vivienda digna, se menciona que una de las condiciones de riesgo que determinan que una situación puede ser inadecuada es la temporalidad del refugio. Esta es la circunstancia en la que se encuentran millones de refugiados en todo el mundo. Puede que consigan acceso a una vivienda, pero se trata de una solución temporal. Sin embargo, en el caso de los refugiados saharauis, esta condición provisional se ha prolongado más de lo que en un principio esperaban, y tras casi 45 años siguen esperando poder volver a su hogar.

El conflicto actual entre Marruecos y el Sahara Occidental se disparó en 1975, cuando España renunció al control administrativo del territorio que había ocupado durante casi un siglo, ante la presión de Marruecos. Se trata de un territorio estratégico por su situación costera, rico en recursos naturales, que quedó en su mayor parte bajo control marroquí. Los desplazamientos comenzaron entonces; al principio los saharauis abandonaron las ciudades para instalarse en el desierto, pero la persecución marroquí los llevó a cruzar la frontera hacia Argelia, buscando refugio. Desde entonces, los saharauis siguen en el desierto argelino, esencialmente en los campamentos de la provincia de Tinduf, donde se fijó la nueva capital de la República Árabe Saharaui Democrática. Lo que lleva reivindicando el pueblo saharauí durante todos estos años es realizar un referéndum de autodeterminación, que les permita pronunciarse respecto a su futuro sin mediaciones externas, y retornar a sus hogares.

“Al principio los refugiados rechazaban la idea de una casa porque sigue habiendo la mentalidad de que estamos de paso en el campamento y que no hay que construir nada sólido hasta que no volvamos a casa, que eso sería como reconocer que nos vamos a quedar toda la vida en el campamento”, reflexiona Tateh Lehib, y añade: “aunque yo estoy de acuerdo con ese planteamiento, también quiero vivir dignamente.”<sup>48</sup>

Cuando se vive con el pensamiento de que tus condiciones son temporales, el progreso no es fácil, sobre todo en un ámbito como la arquitectura. Desde las primeras culturas que pretendían crear asentamientos humanos para la permanencia, la arquitectura tiene esa aspiración de perdurar en el tiempo que le dificulta converger con la inusual situación del pueblo saharauí.

<sup>47</sup>Tateh Lehib, en su página de facebook @Sandships, 7 de septiembre de 2018.

<sup>48</sup>Tateh Lehib, en la presentación del documental "El loco del desierto" en el Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 29 de octubre de 2018.

Tateh Lehib Breica, conocido como “el loco de las botellas”, es el joven saharauí que está construyendo viviendas resistentes a las difíciles condiciones climáticas del desierto con botellas de plástico rellenas de arena. Pertenece a una generación que ha nacido ya refugiada, que no ha conocido otra realidad más que la de los campamentos. Nació y creció en el campamento de Awserd, gracias a una beca estudió energías renovables en la Universidad de Argel, y posteriormente realizó un máster en eficiencia energética en la Universidad de Las Palmas, en España, con una beca Erasmus Mundus. Su objetivo desde el principio era estudiar y formarse para poder ayudar de alguna forma a su pueblo y mejorar sus condiciones de vida. En su Trabajo de fin de Máster, empieza a proponer soluciones a partir del estudio de técnicas tradicionales de otros lugares con condiciones geográficas y climáticas similares a las suyas, que pone en práctica al volver a casa. “Quiero lograr que la vida en los campamentos además de ser provisional y digna, sea más cómoda y práctica.”<sup>49</sup>

Posiblemente, la inspiración detrás de la idea de utilizar botellas en su proyecto tuviera que ver en parte con Andreas Froese. Su relación es completamente fortuita, ya que tiene lugar a través de un documental sobre construcción con botellas de plástico que el primero ve en la universidad. Es fundamental mencionar que una de las cuestiones en las que incide Froese cuando habla de utilizar su sistema en distintos lugares del mundo, es la importancia de conocer tanto el contexto como las técnicas tradicionales de cada lugar, ya que no vale con simplemente copiar y reproducir un sistema; la construcción debe adaptarse<sup>50</sup>. No solo porque técnicamente va a ser más eficaz, sino porque es importante preservar en la medida de lo posible el patrimonio local y el sentido de pertenencia de los usuarios.

## **Comparación con la arquitectura tradicional**

Las sociedades antiguas aprendieron a construir en colaboración con la naturaleza, levantando edificaciones desde un conocimiento intuitivo del entorno y el clima, aprovechando los recursos que encontraban a su disposición. Este sería el origen de lo que en la actualidad llamamos eco-arquitectura. Así, parece lógico pensar que la arquitectura más ecológica y sensata sea la tradicional del lugar: construir con madera en lugares donde hay madera, con piedra donde hay piedra... y por qué no, ¿con botellas donde hay botellas? El estudio de todos estos casos me ha llevado a darme cuenta de que el proceso de ideación de las edificaciones con botellas se asemeja en gran medida a la construcción tradicional, en el sentido de que básicamente se hace



Figura 28. Situación de la región de Tinduf, en Argelia.

<sup>49</sup>Tateh Lehib, "Propuesta de medidas de mejora de la eficiencia energética y del bienestar térmico de los edificios de viviendas en los campamentos de refugiados saharauis en Tinduf" (Trabajo Final de Máster, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2015), 4.

<sup>50</sup>Andreas Froese, Entrevista en el programa "Hablemos de arquitectura" (mayo 2018).



uso de un material del que se dispone en el entorno, además en gran cantidad. Pero, ¿puede este sistema ser aceptado por los individuos que lo van a habitar?

Es necesario conocer el proceso de evolución de la vivienda tradicional saharaui para comprender si el modelo propuesto por Tateh puede albergar de forma satisfactoria el modo de vida de esta sociedad, o si por el contrario, los prejuicios respecto al material utilizado pueden suponer que pese más el rechazo.

**Evolución de la vivienda saharaui**

En una de las áreas más inhóspitas del planeta, como es el desierto del suroeste de Argelia, los recursos son muy limitados. Sin embargo, abunda un material muy interesante para la construcción como es la arena, además de la arcilla, y el sol. Por lo que naturalmente, la vivienda tradicional de la zona está construida con adobe. No obstante, en sus orígenes el pueblo saharaui era nómada, y vivía en el desierto en tiendas hechas con pelo de camello y cabra, llamadas jaimas. Ahora, ambos tipos de construcciones coexisten en los campamentos de Tinduf.

La jaima típica saharaui tiene forma piramidal. Se orienta hacia el sur y puede tener una longitud de entre 6 y 12 metros, dependiendo del tamaño de la familia. Interiormente se divide en dos zonas, una para las mujeres, y otra para los hombres y la recepción de visitas. En el interior se desarrolla una vida muy familiar, con la conversación como núcleo de esa cultura oral tan importante. Los símbolos más característicos de la vivienda de la cultura saharaui serían el té y la alfombra.

La jaima evoluciona con la inclusión de estancias construidas con adobe, comenzando por la cocina, que así es más segura frente a los incendios. También se construyen baños y posteriormente más estancias, que quedan recogidas por un muro también de adobe, con un patio interior.

La inclusión del adobe no implica la desaparición de la jaima, puesto que sigue teniendo un mejor desempeño frente a las lluvias torrenciales o el viento del desierto. Éstas se integran en los complejos de viviendas y todavía son una parte importante de ellas, pues allí se desarrolla la vida social; la vida en comunidad propia de esta cultura. Pero a veces se mantienen más como un símbolo que por su conveniencia. “En nuestra cultura, la familia es lo más importante y la familia permanece unida con el vínculo de la jaima”,<sup>51</sup> explica Tateh.



Figura 29. Jaima tradicional saharaui.



Figura 30. Casas de adobe.

<sup>51</sup>Tateh Lehib, "Propuesta de medidas de mejora de la eficiencia energética y del bienestar térmico de los edificios de viviendas en los campamentos de refugiados saharauis en Tinduf", 18.



Figura 31. Configuración de vivienda saharaui.

**La vivienda en los campamentos de refugiados**

Actualmente, en los campamentos de refugiados conviven varios tipos de viviendas, aunque al principio solo había jaimas. Además de la jaima saharaui, hay jaimas argelinas (con el techo a dos aguas) que fueron donadas por el país y otro tipo de jaimas donadas por ACNUR (con un rectángulo en la cúspide). Sin embargo, la vivienda que predomina ahora que ha pasado el tiempo es la construida con adobe. Tiene ventajas térmicas y de habitabilidad, pues como hemos visto permite aislar la cocina y el baño. En los últimos años se han empezado a construir también casas con ladrillos de cemento. Tienen la ventaja de que no serán destruidas por las lluvias, pero se trata de construcciones mucho más caras y con peor aislamiento térmico. Una versión más asequible de las mismas son las casas de adobe con enfoscado de cemento.

A la vista de este interés por buscar alternativas a las construcciones de adobe, no es tan descabellado considerar un material residual como las botellas de plástico, que abundan y se acumulan ante la falta de sistemas de gestión de residuos y reciclaje, como un material válido de construcción. Sobre todo si su uso puede mejorar la calidad de vida de las personas que habitan estas viviendas, gracias entre otras cosas a aumentar la resistencia de los muros tradicionalmente hechos de arena, sin comprometer sus propiedades térmicas.



Figura 32. Jaima saharaui, jaima argelina y jaima de ACNUR.

**Implantación urbana**

El sentimiento del pueblo saharaui al llegar al nuevo territorio era el de provisionalidad, sin embargo, las mujeres se encargaron de organizar los equipamientos necesarios para continuar con la vida, como los hospitales y escuelas. No fue hasta más tarde, viendo que pasaban los años y su situación no cambiaba, que empezaron a plantearse construir casas de adobe, más convenientes que las jaimas en las que

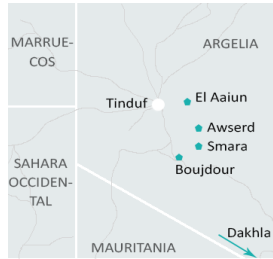


Figura 33. Situación de los 5 campos en torno a Tinduf.

“provisionalmente” se alojaban. Es entonces cuando comenzaron a organizarse en dairas (barrios) y wilayas (provincias).

Actualmente hay cinco campamentos en los alrededores de Tinduf: Awserd, Boujdour, Dakhla, Smara y Laayoune (figura 33); y se estima que unas 165.000 personas conviven en total en los campos.<sup>52</sup> Tras su larga estancia en el lugar, la estructura urbanística actual de los campamentos hace pensar que podrían ser asentamientos permanentes. No obstante, como apunta Tateh, se trata de una situación inestable, ya que las fuertes lluvias del desierto, que son capaces de destruir las construcciones de adobe, pueden cambiar esta imagen de un momento a otro.

Tras el éxito desafiando este problema de la primera vivienda con botellas creada por Tateh, ACNUR se implicó en la construcción de otras 25 casas para personas en altas condiciones de vulnerabilidad, distribuidas en los cinco campamentos de refugiados de la zona.



Figura 34. Imagen de un campamento de refugiados saharauis.

<sup>52</sup>Sitio web de ACNUR Comité Español, "Refugiados saharauis: 40 años de vida en los campos", <https://eacnur.org/blog/refugiados-saharauis-40-anos-de-vida-en-los-campos/> (consultado en noviembre de 2019)

## **Estudio de tipologías: El sistema PET adaptado a diversas necesidades**

Vamos a ver la tipología de vivienda diseñada por Tateh en relación a otras similares en África. Habría muchos casos distintos para comparar, pero se han elegido ejemplos de países vecinos, que cuentan con unas condiciones y necesidades más próximas a las de Tinduf.

### **La vivienda circular diseñada por Tateh Lehbib**

La vivienda tipo diseñada por Tateh Lehbib en los campos de Tinduf es una vivienda sencilla de planta circular. Cuenta con una sola estancia, igual que las tradicionales jaimas saharauis. A diferencia de éstas, tiene solamente una entrada; se trata de una pieza con un carácter más introvertido.



Figura 35. Tateh Lehbib junto a una de las viviendas de su proyecto.

Estas viviendas miden 4 metros de diámetro y unos 3 metros de altura. Están pensadas para que vivan familias de 4 o 5 miembros como máximo. En general, son un poco más pequeñas que las casas de adobe a las que sustituirían.

La forma circular se adapta mejor a las condiciones climáticas del desierto. Una de las adversidades a las que se enfrentan frecuentemente estos refugiados son las tormentas de arena, y con esta forma se



consigue que la arena no se acumule junto a la pared (llegando muchas veces hasta el techo) y que entre menos polvo a la vivienda. Además el viento tiene menos superficie contra la que chocar directamente; circula alrededor, lo que favorece la estabilidad de la construcción.

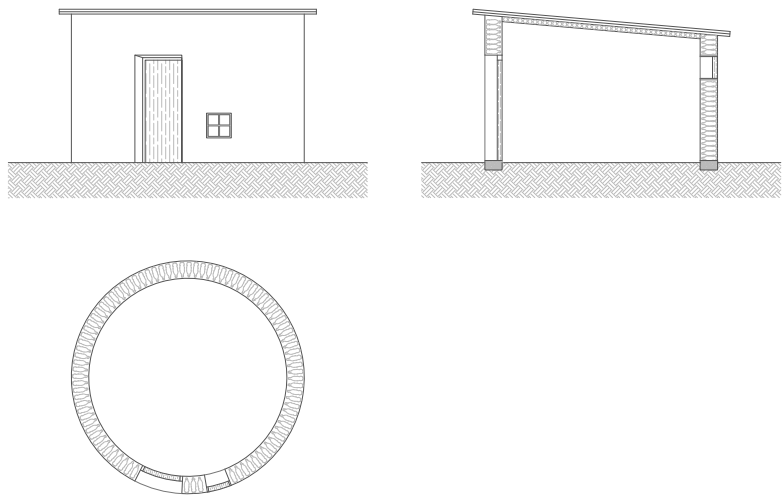


Figura 37. Planta, alzado y sección de una de las viviendas de Tinduf.

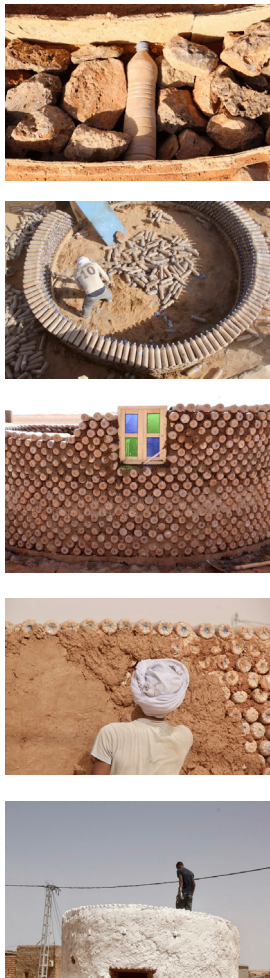


Figura 38. El proceso constructivo.

El **proceso de construcción** se divide en cinco fases:

1. Conseguir las botellas. Para cada vivienda hacen falta unos 5000 envases de litro y medio, que se encuentran abandonados en el desierto. Cuesta dos semanas conseguir las botellas y rellenarlas con una mezcla de arena, y una semana más construir el edificio.
2. Replanteo de la planta circular y construcción de los cimientos sobre los que se asientan las botellas, que son de cemento.
3. Levantamiento de la vivienda, utilizando una masa de arena y paja como pegamento entre los envases, que se disponen unos sobre otros de forma horizontal.
4. Recubrimiento de los muros exteriores con cal y tierra, blanqueándolos para que la luz del sol refleje y baje la temperatura interior.
5. Instalación de la cubierta.



Figura 39. Vivienda en construcción.

En cuanto a las cubiertas, las primeras se hicieron con lámina de zinc, siguiendo el ejemplo de las viviendas de adobe. El problema, como ya ocurría, era que así el interior se recalentaba demasiado. Más tarde se experimentó con un sistema también de botellas y consiguieron que la temperatura interior disminuyera. Ahora las viviendas tienen un doble techo de botellas que favorece la ventilación y ventanas a diferentes alturas con la intención de generar corrientes de aire en el interior.

Aunque el coste total de la primera vivienda (aquella que Tateh hizo con sus propias manos para su abuela) fue de solo 250€, la construcción del resto de viviendas supone un coste de unos 1500€, contando con la mano de obra.



Figura 40. Acabado exterior e interior de una vivienda.



**Viviendas de varias estancias realizadas por Ecotec África en Yelwa, Nigeria**

En Yelwa, un pueblo de Nigeria, fue donde se construyó la primera casa de botellas del continente africano, en el año 2011.



Figura 41. Vivienda en construcción en Yelwa.

La construcción, que cuenta con una superficie de 58 m2, mantiene la forma redondeada tradicional de las casas del norte del país, conformando una tipología de vivienda de varias estancias de planta circular. Tiene un dormitorio, salón, cocina, aseo y baño.

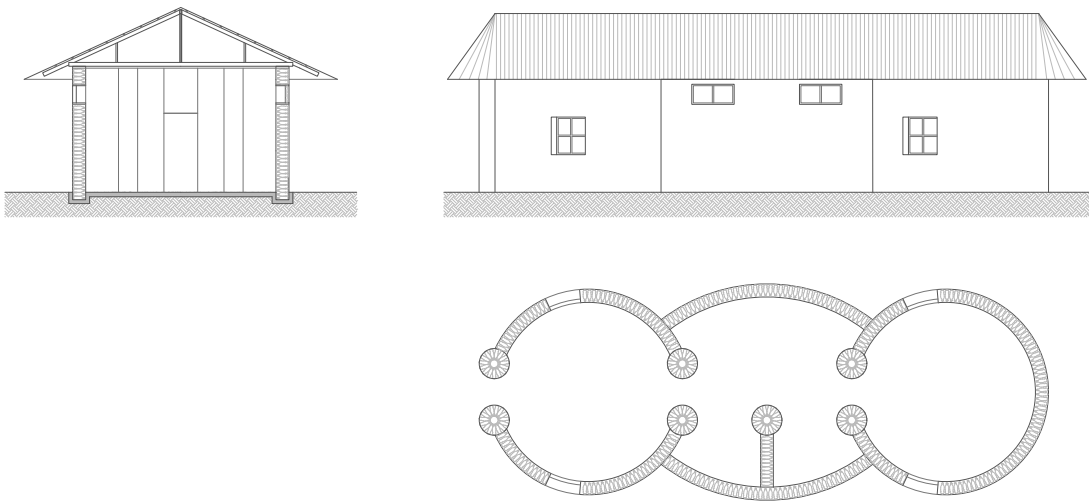


Figura 42. Planta, alzado y sección de la vivienda de Yelwa.

Los responsables de esta obra pertenecían a la empresa **Ecotec**, por lo que el sistema constructivo repite la técnica que ya hemos visto anteriormente, con envases rellenos de arena unidos con una mezcla de barro, y aprovechando para reutilizar materiales desechados de la construcción.



Figura 43. Construcción de la vivienda.

Para este proyecto se utilizaron 7800 botellas de plástico, cuyos fondos se dejaron vistos en fachada enfatizando la personalidad del proyecto. La idea es que funcionara como una casa autosuficiente, por lo que se instalaron sistemas de aprovechamiento de la energía solar y de recolección de agua, con tanques de almacenamiento y sistemas de purificación, entre otras cosas.

El sistema consigue que la temperatura interior de la vivienda se mantenga en 18°C durante todo el año, aliviando las altas temperaturas de los meses más cálidos en el centro de África. Además, como apunta Yahaya Ahmed, de la Asociación para el Desarrollo de Energías Renovables en Nigeria<sup>53</sup>, cuesta una tercera parte de una similar construida con ladrillos y hormigón.

<sup>53</sup>Sitio web EcolInventos, "Casa construida con botellas PET recicladas en Nigeria", *EcolInventos*, 29 de marzo de 2016.





Figura 44. Vivienda circular con botellas basada en la arquitectura tradicional de Uganda.



Figuras 45 y 46. Viviendas de botellas en Colombia.

La **vivienda de planta circular** es quizá la tipología más extendida en las construcciones con botellas, probablemente por las ventajas constructivas que ofrece. Además de ser más resistentes, requieren una menor cantidad de cemento y se necesita menos tiempo para su construcción.

En **Latinoamérica** también se pueden encontrar ejemplos de viviendas con planta circular, con una o varias estancias. Una de las personas que las ha construido ha sido Ingrid Vaca Diez, una abogada que, tras la visita de Andreas Froese a su pueblo (Warnes, en Bolivia), aprendió cómo funcionaba el sistema y se dedicó a transmitirlo y ejecutarlo en otras zonas del continente. Hay construcciones suyas en Colombia, Bolivia, México, Argentina... tanto de planta circular como rectangulares, como las de las figuras 45 y 46, en Colombia.

Una de sus viviendas estándar con cocina, baño y dos dormitorios requiere 8000 botellas y tiene una superficie de 38 m<sup>2</sup>, pero también se ha involucrado en proyectos de viviendas para familias más grandes de hasta 170 m<sup>2</sup> para las que hacen falta unos 36.000 envases de plástico.

### Prototipo de vivienda ortogonal en Paipe, Nigeria

Paipe es una comunidad situada a las afueras de una gran ciudad en el norte de Nigeria, que se está extendiendo rápidamente con la llegada de nuevos pobladores procedentes de zonas rurales. La vivienda allí no podría calificarse como adecuada, ya que la mayoría son edificios temporales de construcción muy rápida.

Ante esta situación, ya hemos mencionado antes un estudio que reunió a un equipo conformado por locales, arquitectos e ingenieros con el objetivo de investigar las necesidades y deseos de estas personas en cuanto a la vivienda y desarrollar un prototipo que pudiera darles respuesta de forma económica, utilizando botellas de plástico.



Figura 47. Construcción de la vivienda en Paipe.

El edificio construido sigue los estándares de una vivienda típica de un dormitorio en Nigeria, con un salón, una cocina, un dormitorio y un baño, en una superficie de unos 35 m<sup>2</sup>.

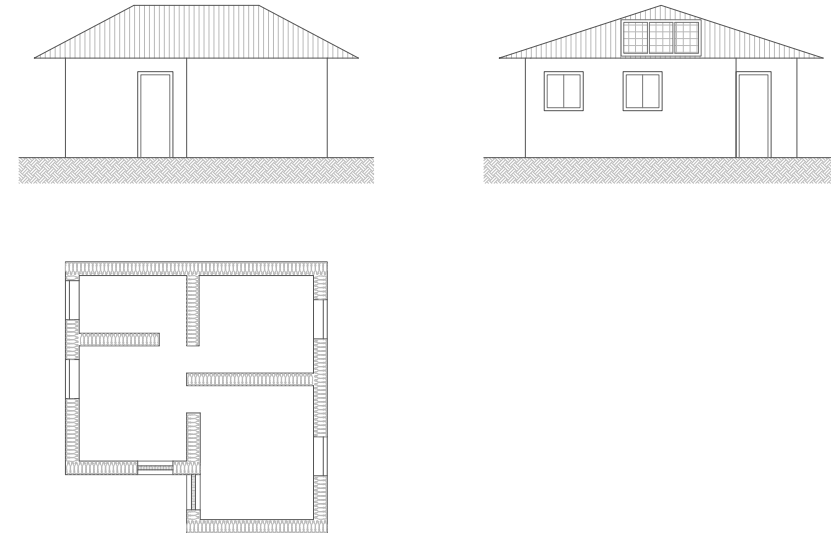


Figura 48. Planta y alzados de la vivienda de Paipe.

El **proceso de construcción** fue el siguiente, similar a otros que hemos visto:

1. Recolección de las botellas. Cada una de estas viviendas necesitaría unas 10.000 botellas de plástico de dimensiones similares. Éstas se rellenan con arena sin que queden huecos vacíos, aunque no es necesario que quede perfectamente compacta, pues los estudios previos realizados en el laboratorio demostraron que una botella con un relleno apropiado tenía suficiente fuerza aún sin compactar la arena<sup>54</sup>.

2. Replanteo según el método local usando varas de madera y cimentación. Para la capa inferior (de unos 15 cm) se utiliza hormigón, al que se añaden restos de bloques de cemento rotos típicos de la construcción nigeriana para abaratar costes. La siguiente capa, así como los pilares, se construyen con botellas en lugar de utilizar los bloques de hormigón hueco habituales. De esta forma, al ser una construcción compacta, se impide que las termitas que infestan la zona lleguen por el interior hasta el tejado, amenazando su estructura.

3. Levantamiento de los muros, disponiendo las botellas de manera horizontal con una separación de 4 centímetros entre ellas. Se utiliza cuerda (como en el sistema Ecotec) para crear una malla que une las botellas y sirve como refuerzo a la estructura, y después se añade el mortero de cemento entre las piezas.



Figura 49. El proceso constructivo.

<sup>54</sup>A. Mansour y S. A. Ali, "Reusing waste plastic bottles as an alternative sustainable building material", *Energy for Sustainable Development* 24 (2015): 23.



Figura 50. Acabado exterior e interior.

4. Las botellas situadas sobre el nivel de los dinteles se rellenan con agua en lugar de arena para aumentar el confort térmico deseado en la vivienda. Para las particiones entre habitaciones también se utilizan botellas con agua, pues ayudan a regular la temperatura interior entre estancias.

5. Instalación de la cubierta, utilizando el método convencional de láminas de Aluzinc preferido por los usuarios sobre una estructura de varas de bambú reutilizadas tras su uso como andamios. Se añade un sistema de recolección de agua de lluvia.

6. Recubrimiento convencional de los muros interiores con mortero. Los tubos de cableado eléctrico se colocan aprovechando los huecos entre los cuellos de las botellas antes del enlucido. Para el suelo se utiliza una capa de 10 centímetros de hormigón con un acabado de piezas de cerámica rotas procedentes de desechos de la construcción.

La arquitectura tenía en cuenta la necesidad de minimizar la huella energética de la vivienda, y para contribuir a esta idea se añadieron también colectores de agua que obtendrían agua caliente aprovechando la energía del sol y hornillos que funcionarían con energía solar para cocinar.



Figura 51. Vivienda terminada con placas solares y sistema de recolección de agua de lluvia.

El coste de la construcción del prototipo de botellas fue de 1.500.000 nairas nigerianas (equivalentes a unos 3500€), que es el 35% del precio de una construcción de bloques de arena y cemento convencionales en esa zona de Nigeria. Además, se estima que las construcciones futuras cuesten aún menos, pues se eliminarían costes asociados a la investigación y la formación de los trabajadores.

El objetivo final del proyecto era desarrollar un prototipo de vivienda low cost autosuficiente que pudiera ser replicada fácilmente por gente de distintos lugares usando materiales locales. Eso sí, los resultados debían ser aprobados por la comunidad; los habitantes debían quedar completamente satisfechos con la estética de la vivienda y ésta debía responder perfectamente a sus necesidades. A pesar de la desconfianza inicial hacia un sistema creado desde elementos de desecho, el resultado fue muy satisfactorio.

Las viviendas con botellas con muros rectos de **planta cuadrada o rectangular** como la de Paipe son también muy comunes. Un ejemplo de vivienda de una habitación es la casa de María en El Salvador, mencionada anteriormente. Pero también hay otras como la casa del profesor Radovanovic en Serbia, o la Casa Ecológica de Botellas de Iguazú, también mencionadas, que tienen una configuración más compleja, con múltiples habitaciones, sin que ello suponga un problema para el sistema.

Quizá lo menos común en cuanto a distintas tipologías sea encontrar **edificios de varias plantas** hechos con botellas, pero también existen. En el Pueblo de Botellas de Plástico (The Plastic Bottle Village) en la isla de Bocas del Toro, en Panamá, hay viviendas de dos plantas, e incluso hay una construcción más alta: un castillo. Pero el sistema constructivo en este caso es diferente a los que hemos visto, pues se ayuda de una estructura metálica que le aporta estabilidad.



Figura 52. The Plastic Bottle Village en Bocas del Toro.



## Las variaciones en el sistema constructivo con botellas

A lo largo de este trabajo ya hemos hablado en varias ocasiones de los sistemas constructivos con botellas. Conocemos a Andreas Froese y el sistema Ecotec, sabemos lo que son los ecobricks y cómo se construyen, se han mencionado los beneficios de este tipo de construcción... y además, acabamos de ver el sistema utilizado en tres ejemplos distintos en el continente africano, entre ellos el de Tinduf.

Debido a la característica espontaneidad con la que han ido surgiendo y desarrollándose este tipo de construcciones, es evidente que la mayoría no ha seguido las guías de un sistema conocido. Por ello, aunque en muchos casos se han llegado a soluciones similares, en el sistema constructivo utilizado en los diferentes casos encontramos muchas variaciones. Aquí se recogen las más comunes, a modo de resumen, con el propósito de ofrecer una visión general y ordenada de las mismas.

### Relleno de las botellas

Las botellas de plástico pueden llenarse con distintos materiales. Los más comunes son el relleno con basura (ecobricks) y el relleno de tierra, aunque en ocasiones en que la necesidad estructural es menor se obvia el relleno.



Figura 53. Llenado de botellas.

- Basura inorgánica (ecobricks): contribuye a una mayor limpieza del entorno y además funciona como aislamiento.
- Tierra o arena: muy buen aislante natural y se consigue un buen funcionamiento estructural.
- Aire: para muros de partición sin carga estructural.
- Agua: para dejar pasar la luz o como regulador térmico.

En el estudio de K. Kalumire, que investiga la fuerza de compresión de las botellas de plástico como mampostería, se propone un relleno para las botellas en 3 capas, con el objetivo de mejorar la capacidad de aislamiento térmico de las mismas. La primera y la última constarían de una mezcla de tierra y grava compacta, mientras que para la capa central se utilizaría corcho o partículas de madera<sup>55</sup>.

<sup>55</sup>K. Kalumire, "Investigating the compressive strenght of plastic bottles as masonry", (Trabajo Fin de Grado, Faculty of the Built Environment, Uganda Martyrs University, 2011), 42.

### Recubrimiento de los muros de botellas

En algunos casos los muros de botellas no tienen un recubrimiento extra, dejando las botellas vistas, pero en otros el sistema se completa con una capa de adobe o cemento, consiguiendo una imagen final muy distinta.

- Sin recubrimiento: La casa ecológica de botellas
- Adobe: Viviendas de Ingrid Vaca
- Cemento: Viviendas en The Plastic Bottle Village



Figura 54. Construcción sin recubrimiento.

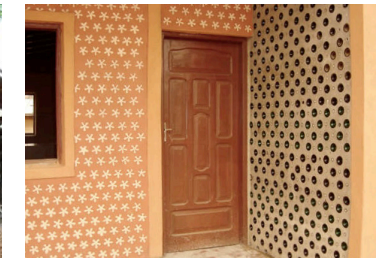


Figura 55. Construcción con recubrimiento de adobe.



Figura 56. Construcción con recubrimiento de cemento.

### Disposición de las botellas

Las botellas pueden disponerse de forma horizontal; apiladas unas sobre otras creando una estructura más resistente, o de forma vertical; creando muros de partición ligeros con menores exigencias estructurales.

- Horizontal: Sistema Ecotec
- Vertical: Escuelas de la organización Hug it forward



Figura 57. Botellas apiladas en horizontal.



Figura 58. Botellas colocadas en vertical.

Sistemas con refuerzo adicional

Algunos proyectos han utilizado sistemas más complejos en los que la estructura de los muros de botellas de plástico se ha visto reforzada por otros elementos.

- Estructura tipo gavión: The Plastic Bottle Village
- Varillas de acero estructural y malla metálica: Laura Kutner
- Varas de bambú: María en El Salvador



Figura 59. Estructura tipo gavión.



Figura 60. Estructura con varillas de acero y malla metálica.



Figura 61. Estructura con varas de bambú.

Estructura tipo gavión en The Plastic Bottle Village

Hablábamos anteriormente de que la estructura de las viviendas de The Plastic Bottle Village se ayudaba de una estructura metálica que le aportaba estabilidad. Ésta es una estructura que, a modo de gavión, se rellena con las botellas de plástico vacías, por lo que el peso estructural del diseño recae únicamente en estos gaviones, no sobre las botellas. Al final la estructura se recubre con hormigón, lo que le aporta el mismo acabado que las viviendas convencionales de la zona.



Figura 62. Vivienda en The Plastic Bottle Village.

Este pueblo ecológico hecho de botellas de plástico es una idea de Robert Bezeau, un canadiense que, tras haber trabajado realizando casas prefabricadas en Quebec, se mudó a Panamá y empezó una cruzada contra las botellas de plástico de un solo uso que estropeaban el paisaje panameño. Decidió utilizar el millón de botellas que había recogido a lo largo de los años para crear una comunidad que contará con 120 viviendas hechas con botellas, además de otros equipamientos, con un marcado carácter de concienciación medioambiental.

Laura Kutner y una escuela en Granados, Guatemala

Laura Kutner, una voluntaria de la organización norteamericana Peace Corps, tuvo la idea de terminar el proyecto de construcción de una escuela en Granados, Guatemala-que se había paralizado por falta de fondos- usando esta técnica. Había leído sobre otras comunidades en Latinoamérica que habían usado las botellas rellenas de basura compactada como material de construcción, y propuso hacer lo mismo creando unos marcos metálicos como refuerzo extra en la estructura, donde las botellas se colocarían entre dos mallas de alambre.

Ante la variedad de soluciones, podemos preguntarnos ¿qué sistema es mejor? ¿Cuál es la solución ideal? Y la verdad es que no se podría elegir una en concreto, pues estas variaciones responden a las necesidades específicas de los proyectos en los lugares para los que están creados. Las viviendas de Tinduf demandaban robustez y estabilidad para hacer frente a las extremas condiciones del desierto, y eso consiguieron utilizando un sistema muy compacto, que además reducía considerablemente la temperatura interior de las viviendas. El nivel de confort para los habitantes, así como su seguridad, incrementaba considerablemente. Por otra parte, la desventaja es que una construcción tan cerrada no encaja con el modo de vida y el carácter del pueblo saharai, muy abierto y social.

Del mismo modo, cuando se planteó construir **escuelas en los campos de Tinduf** con la técnica de las botellas de plástico, el sistema se adaptó a las necesidades del espacio. Las nuevas estancias se hicieron con forma rectangular y, ante la mayor demanda de luz solar en el interior, se experimentó rellenando algunas botellas con agua en lugar de arena, que conservaban una capacidad estructural aceptable con la ventaja de que además dejaban pasar la luz.



Figura 63. Muros con botellas llenas de agua para dejar pasar la luz.



## **Impacto económico, social y medioambiental**

Los proyectos de construcción de viviendas con botellas de plástico influyen de forma positiva en los lugares en los que se realizan. Su impacto es notable en distintas áreas del desarrollo humano, pero vamos a centrarnos en la perspectiva de cada uno de los tres pilares del desarrollo sostenible: el impacto económico, social y medioambiental.

### **Impacto económico**

Una de las conclusiones más claras respecto a las ventajas de proyectos como el de Tateh Lehib es que las construcciones con botellas son notablemente más baratas que aquellas realizadas con materiales convencionales de la industria. Ya no solo porque el coste del material principal, al ser un material reutilizado, se reduce, sino también porque la mano de obra necesaria para construir estas obras no suele necesitar una formación previa. Que cualquier miembro de la comunidad pueda aprender la técnica e implicarse en la construcción supone una gran ventaja en este sentido.

Otra clave está en el resto de materiales utilizados. En casos como el de Tinduf, igual que en la arquitectura tradicional saharauí, solo se utilizan materiales autóctonos además de las botellas, que también se consiguen en el entorno inmediato. No hace falta transportar ningún material desde la ciudad; materiales que en sí son más caros, ahorrando también el coste del transporte.

Por otra parte, el diseño de estas viviendas se realiza con la idea de que sean lo más autosuficientes posibles y no tengan que depender de sistemas de energía o regulación de temperatura externos, por ejemplo. Esto, además de las consecuencias de confort inmediatas, implica que los costes de servicios se reduzcan también considerablemente para los habitantes de estas casas.

Hemos mencionado la facilidad con la que los miembros de estas comunidades pueden aprender la técnica de construcción. Esto tiene otras ventajas que inciden directamente en el desarrollo económico de estas poblaciones, pues proyectos como estos suponen una oportunidad para crear numerosos puestos de trabajo para los que se requerirían habilidades diferentes: desde recolectar las botellas, clasificarlas y llenarlas, hasta la propia construcción. Además, el acceso a una vivienda asequible tiene el potencial de fortalecer los impulsores económicos y culturales de la comunidad, pudiéndose crear empleos innovadores en campos como el ocio, la seguridad o la gestión de residuos.

### **Impacto social**

¿Qué supone para una comunidad en desarrollo verse de repente involucrada en un proyecto de estas características? Les implica unirse en la recogida de basura; no solo limpiando sus pueblos sino haciéndoles más conscientes de la basura que generan, para luego construir algo para la propia comunidad, ya sean escuelas o viviendas para los más vulnerables. Se crean puestos de trabajo, surgen oportunidades para hablar y discutir el tema... Solucionar el problema de los residuos generados por el modelo de consumo actual empieza por la educación, por generar debate en las calles, por cambiar individualmente para que cambie la sociedad.

Un posible problema puede radicar en la desconfianza hacia un sistema que utiliza la basura como principal recurso. Para los miembros de una comunidad, verse involucrados en la creación de algo tan distinto y colaborar activamente en el proceso puede ser importante para aumentar su aceptación y sentido de pertenencia. Y sentir el proyecto como propio, lleva también al empoderamiento comunitario. Como apunta el estudio *Interdisciplinary Research Journeys*<sup>56</sup>, abordar el problema de la falta de vivienda económica desde una perspectiva interdisciplinar puede realzar la innovación y colaboración, empoderando a pequeñas comunidades a satisfacer sus necesidades de vivienda ofreciendo soluciones pragmáticas sostenibles que además cumplan con los requisitos estéticos y culturales de la población local. Para lograr impactos integrales, se deben facilitar herramientas para el desarrollo autónomo y la autogestión comunitaria.

Hablando de la implicación social de las viviendas de Tateh Lehib para los campamentos de Tinduf, el arquitecto Andrés Perea comenta lo siguiente: “Desde un punto de vista ético, ya tiene mucho mérito por lo que significa de inmediatez y austeridad, además que responde a una visión fructífera y lúdica, hasta los niños participan en el proceso, pero es que además los beneficiarios pasan de vivir en jaimas a hacerlo en una estructura mucho más estable, y mejoran su calidad de vida”.<sup>57</sup>

### **Impacto medioambiental**

El beneficio más obvio en cuestiones medioambientales es la reutilización de materiales desechados, no solo las botellas de plástico sino también desechos de la agricultura y la construcción. La recolección de botellas (y otros residuos plásticos cuando se usan *ecobricks*) ayuda a la limpieza del entorno más inmediato, creando a su vez conciencia ambiental. Que las casas pretendan ser autosuficientes no tiene solo un impacto económico, sino que su impacto ambiental

<sup>56</sup>C. Lyall, A. Bruce, J. Tait & L. Meagher, "Interdisciplinary Research Journeys: Practical strategies for capturing creativity" (Bloomsbury Academic, 2011).

<sup>57</sup>Palabras del arquitecto en la presentación del documental "El loco del desierto" en el Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, en octubre de 2018.

también se minimiza. Los sistemas de recogida de agua de lluvia y aprovechamiento de energías renovables ayudan a este cometido. El propio sistema constructivo es también más limpio, pues las botellas, al no ser un material frágil, no generan tantos residuos en el proceso.

Se dice que en los países en vías de desarrollo el problema de los residuos es más grave porque hay menor conciencia ambiental, pero no siempre es esa la causa y Tateh Lehbib quiere desmentir esa creencia: “Hemos demostrado que los refugiados saharauis no vivimos al margen del mundo moderno, y también nos preocupan los problemas ecológicos. A pesar de nuestras difíciles condiciones de vida, nos involucramos activamente en el reciclaje de residuos plásticos.”<sup>58</sup>

Una consecuencia involuntaria de estas actuaciones es que las viviendas de botellas se han convertido en muchas ocasiones en símbolos de reciclaje para las regiones en las que se asientan. Nacieran o no con esa intención, la realidad es que son proyectos que llaman la atención y portan un mensaje: algo no funciona en el modelo de consumo actual y, si las grandes compañías no hacen nada para cambiarlo, tenemos dos opciones: esperar, o hacer algo al respecto. Grande o pequeña, toda acción lleva a un cambio, y las comunidades en desarrollo se están dando cuenta de que un cambio efectivo en cuestiones medioambientales tiene que empezar por ellos mismos.

Pensando en el ciclo de vida de las botellas como material de construcción surge una nueva cuestión y es que, en los casos en que éstas viviendas se plantean como temporales, ¿qué ocurre con ellas al finalizar su vida? ¿Qué pasa con los materiales utilizados, en concreto, con el plástico? Porque es cierto que la huella ecológica que dejan estas construcciones es mayor que la de las de adobe, por ejemplo. En el ejemplo de Tinduf, el plástico podría ser un inconveniente en este caso, y volvería a ser residuo. Aunque habría posibles soluciones, como reutilizar esos eco-ladrillos para construir otras viviendas (como hace The EcoBrick Exchange), ya implicaría una labor de transporte no tan oportuna. Lo que está claro es que, ante todo, la vida de los refugiados durante su tiempo en el exilio debe ser digna, y si construir con botellas puede conseguir este fin, no debería desestimarse.

<sup>58</sup>Publicación de Tateh Lehbib en su página @Sandship en Facebook, el 9 de abril de 2018.



**06**

# Conclusiones

Los arquitectos tenemos una responsabilidad muy grande con el medio ambiente, pues trabajamos estrechamente con una industria que es de las más contaminantes del planeta. Debemos tener en cuenta que todas las resoluciones constructivas que tomamos (en cuanto a técnica, tipo de materiales, procedencia de los mismos...) conllevan ciertas implicaciones y tienen consecuencias. Solo siendo conscientes de lo que suponen realmente nuestras decisiones y actuando en consecuencia podemos originar una arquitectura más sostenible y responsable con el entorno. Si no nos gustan las implicaciones ambientales de lo que queremos crear, podemos buscar alternativas en lugar de conformarnos. Podemos cambiar las reglas del juego.

Creo que de eso ha tratado este trabajo, de aprender de gente que ha jugado con las reglas de la arquitectura cambiándolas a su favor, con unos resultados sorprendentes. Construir con botellas de plástico ha resultado tener un impacto positivo en distintas áreas, mucho más allá de las implicaciones ambientales esperadas. Es cierto que, por la naturaleza de los proyectos, todavía no hay unas reglas arquitectónicas establecidas al respecto, y esto repercute por ejemplo en la falta de documentación gráfica disponible actualmente. Sin embargo, el trabajo de distintas organizaciones puede llevar a cambiar esto en el futuro.

Ante la pregunta planteada al inicio, ¿es posible construir con materiales considerados como basura y, al mismo tiempo, hacer arquitectura? Yo creo, tras lo aprendido, que sí. Sin embargo, con este trabajo no quiero decir que construir con botellas de plástico sea la solución a los problemas que presentan los sistemas de construcción convencionales; pero sí quiero hacer hincapié en que la situación actual del planeta requiere buscar modelos de arquitectura y construcción distintos.

De hecho, ni siquiera Tateh Lehib piensa que el camino a seguir a largo plazo en los campamentos de Tinduf esté en continuar evolucionando las viviendas de botellas, sino en perfeccionar las viviendas de adobe tradicionales y las jaimas que caracterizan a la población saharauí. El siguiente paso para él es hablar de arquitectura sostenible con su gente, con el objetivo de recuperar en cierta forma el modo de vida de sus antepasados.

Esa es otra de las enseñanzas que me llevo de este trabajo, un conocimiento muy valioso sobre el pueblo saharauí y su modo de vida. Lo familiares que son, lo importantes que son las reuniones tomando el té con los vecinos, tanto para entretenerse como para estar al tanto de las noticias, la importancia de las mujeres en la vida social y política... La influencia del desierto en su modo de vida. Tateh, con su faceta contemplativa y su audacia para pensar diferente, me ha parecido una persona fascinante de la que aprender.

Y es que durante el proceso de elaboración de este estudio no solo he aprendido sobre el tema tratado. Me llevo numerosas enseñanzas, como la importancia de la educación en comunidades en desarrollo, que es fuente de ideas y proyectos para mejorar desde dentro las condiciones de vida de sus habitantes, sentirse empoderados y compartir oportunidades. He sido consciente de la falta de rigor que existe en las publicaciones de noticias en periódicos y medios digitales, que han sido mi primera fuente de contacto en la mayoría de casos estudiados, y que me han hecho desarrollar mis habilidades de investigación para aclarar contradicciones, datos incompletos o completamente erróneos. Me ha acercado a muchas realidades a las que era ajena, he ampliado mi visión de lo que es la arquitectura en ámbitos distintos a los conocidos, y creo que esto es lo realmente valioso en cuanto a mi formación personal. A su vez, siento que he podido aportar algo valioso, no solo con el resultado del trabajo, sino en el proceso. Las oportunidades de conversación alrededor del estudio han sido tremendamente enriquecedoras, no solo el intercambio con las personas implicadas en los proyectos, sino también aquellas con gente de mi entorno que ha sentido curiosidad por mi investigación.

Para terminar, lo que quiero volver a recalcar es que hace falta un cambio en todos los ámbitos de esta sociedad de consumo. Que hay que pensar la arquitectura desde un punto de vista diferente, teniendo en cuenta el coste energético real de lo que construimos. Y que las viviendas construidas con un material desechado como son las botellas de plástico, son un claro ejemplo de gente que ha empezado a pensar diferente. ¿Son estas viviendas en sí mismas una solución a ese cambio que requiere el sector de la construcción? ¿Son el ejemplo a seguir? No lo creo. Pero estoy convencida de que los arquitectos podemos aprender algo de ellas. Podemos hacer como Tateh, Andreas, Robert, María... y buscar alternativas para hacer una arquitectura respetuosa con el planeta. Sabiendo que las decisiones que tomemos como arquitectos influyen no sólo en la construcción final, su entorno inmediato o sus usuarios, sino que tienen un impacto en el planeta y pueden influir y ser ejemplo en el futuro de la profesión.

**07**

**Anexo I.**

**Índice de casos:  
construcciones con  
botellas de plástico**

## Índice de casos: construcciones con botellas de plástico

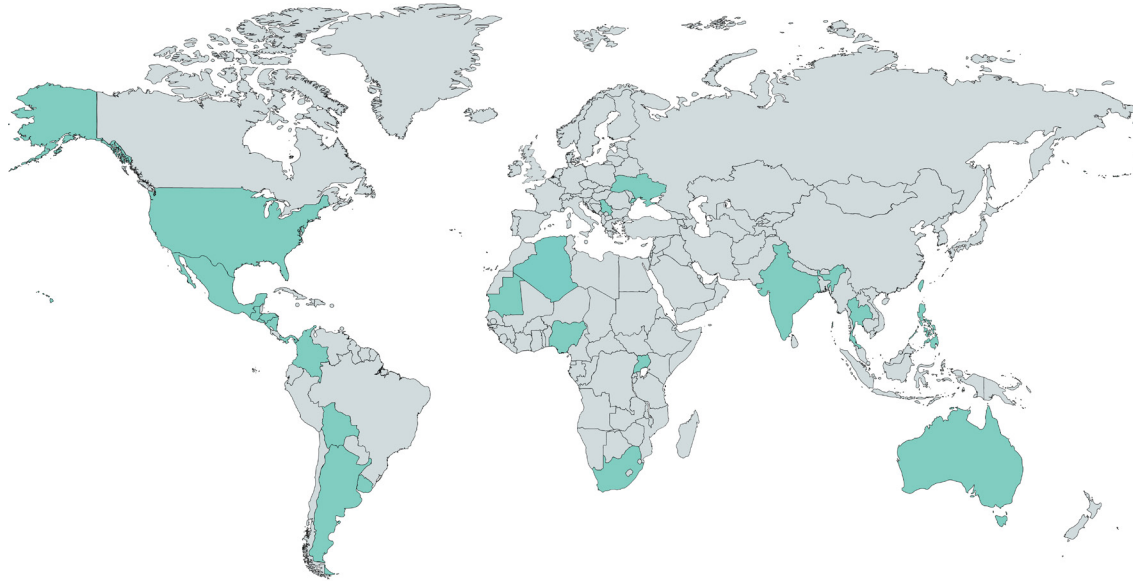


Figura 64. Países con presencia de construcciones con botellas.

### ÁFRICA

ARGELIA, Tinduf. Viviendas para refugiados saharauis (2016)  
 MAURITANIA, Nuakchott. Construcción en colaboración con Tateh Lehbib (2019)  
 NIGERIA, Paipe. Prototipo de vivienda de ECOTEC África (2017)  
 NIGERIA, Yelwa. La primera casa de botellas de África (2011)  
 SUDÁFRICA, Walmer. Penguins Learn&Play Center, The EcoBrick Exchange (2015)  
 UGANDA, Kayunga. Escuela primaria Bwetyaaba, por BUVAD (2010)  
 UGANDA, Kayunga. Proyectos de vivienda y tanque de agua, por BUVAD

### AMÉRICA

ARGENTINA, Puerto Iguazú. La Casa Ecológica de Botellas (2000)  
 ARGENTINA, Roldán. Viviendas por Ingrid Vaca  
 BOLIVIA, Pico del Monte. 10 casas y un aula en un colegio, Ingrid Vaca (2015)  
 BOLIVIA, Warnez. Guardería, colegio y viviendas por Ecotec + Ingrid Vaca (desde 2007)

COLOMBIA, Cali. Fuente en Park of life, por Ecotec (2008)  
 COLOMBIA, Tenjo. Viviendas por la Fundación Organismo  
 COLOMBIA, . Viviendas por Ingrid Vaca  
 ESTADOS UNIDOS, California. Grandma Prisbrey's Bottle Village [vidrio] (1956-80)  
 ESTADOS UNIDOS, Nevada. Primera casa con botellas [vidrio] (1902)  
 GUATEMALA, Granados. Escuela por Laura Kutner, de Peace Corps (2009)  
 GUATEMALA. Más de 124 escuelas por Hug it Forward (desde 2009)  
 HONDURAS, Tegucigalpa. La Casa Ecológica en el Ecoparque El Zamorano, Ecotec (2002)  
 HONDURAS, Tegucigalpa. Acueducto romano en Botellas en el Ecoparque El Zamorano, Ecotec (2002)  
 HONDURAS, Tegucigalpa. Sky Field House con techo abovedado, Ecotec (2005)  
 HONDURAS. Casa de la Fe, Ecotec (2003-2004)  
 MEXICO, San Pablo del Monte. Casa para familia de 10, Ingrid Vaca  
 MEXICO, Villaflores. Vivienda de Martín Mendoza  
 MEXICO. Viviendas temporales para los afectados del terremoto, VIEM MX (2017)  
 NICARAGUA. Muro de escuela (2001)  
 PANAMÁ, Bocas del Toro. The Plastic Bottle Village, Robert Bezeau (2011)  
 EL SALVADOR, cantón El Borbollón. La "casita encantada" de María Ponce (2005)  
 EL SALVADOR, Los Puentecitos. Escuela por Sarah Sterling, de Peace Corps

INDIA, Hyderabad. Casa de botellas y bambú (2007)  
 INDIA, Nueva Delhi. Escuela Samarpan, Samarpan Foundation (2011)  
 FILIPINAS, San Pablo. Escuela Liter of Light, por MyShelter Foundation  
 TAILANDIA, Sisaket. Templo budista Wat Pa Maha Chedi Kaew (2007)

### ASIA

SERBIA, Kragujevac. Vivienda de Tomislav Radovanovic (2005)  
 UCRANIA, Zaporozhe. Vivienda con botellas de champagne [vidrio]

### EUROPA

AUSTRALIA, Norfolk Island. Tofts House, casa de botellas [vidrio] (1960)  
 AUSTRALIA, Tewantin. House of Bottles and Bottle Museum [vidrio]

### OCEANÍA

La dirección web del **mapa online** colaborativo es la siguiente:

<https://maphub.net/marsart/el-mapa-de-las-construcciones-con-botellas>

**08**

**Anexo II.  
Comunicaciones y  
entrevistas**

## Contacto con la organización Hug it forward

Según su página web, la organización Hug it Forward había creado un manual de construcción con EcoBricks con planos y detalles para que otros pudieran también construir escuelas siguiendo su técnica. Me puse en contacto con ellos para conseguirlo, pues me interesaban los posibles planos que pudiera encontrar. Me lo enviaron sin demora, pero al revisar el manual vi que, como en tantos otros casos, las instrucciones de construcción solo se basaban en fotografías. De los emails intercambiados destacaré los “términos para usar el manual”, que hacen notable esa falta de rigor técnico presente en la mayoría de construcciones con botellas.

### **Re: The Bottle School Manual**

Tu usuario

27 may

Para [info@hugitforward.org](mailto:info@hugitforward.org)

Hello,

My name is María and I'm a final year architecture student from Zaragoza University, in Spain. I'm currently working on my final thesis which studies Plastic Bottle constructions as a sustainable alternative in architecture.

I'm interested in The Bottle School Manual, specifically the architectural plans, but I can't access it through the link on your website. Is there any other way? I would really appreciate having a look at the plans.

Thank you in advance, and congratulations for your work!

Kind regards,

María

### **Re: The Bottle School Manual**

Serve The World Today (STWT)

28 may

Para Tu usuario

Hello María,

I hope you are well and thank you for your email!

I have attached the PDF version of the Bottle School Manual to this email and this should be a good start. Please also review the terms below before starting any project.

**Terms for using the BSM:** *the current PDF version of the BSM has not been fully reviewed by our Director of Bottle Schools, our foreman, or our structural engineer. So, while we are confident the manual provides a good overall picture of how to build a bottle school, important details may be incorrect or missing. If anything seems wrong or questionable to you or your masons, please ask us rather than proceeding blindly. For these reasons, it is absolutely imperative you consult a structural engineer before starting construction. As well, please ask us before sharing the manual with other persons.*

Please review and let us know if you have any questions. :)

Big hugs,

Adam

## Contacto con Alfredo Santa Cruz, creador de La Casa Ecológica de Botellas

Me puse en contacto también con Alfredo Santa Cruz, pues además de su primera obra “La Casa Ecológica de Botellas” en Argentina, ha ayudado a construir muchos más proyectos en Latinoamérica. La respuesta fue en la línea de las anteriores; estaba encantado de colaborar, pero no tenía planos constructivos. “Todo se realiza de acuerdo a los materiales existentes y la necesidad que requiera la obra para dar solución a quienes están en casas con extrema precariedad”, decía.

## **Preguntas a Tateh Lehbib**

Entre los días 18 y 28 de noviembre de 2019 tuvo lugar en la Universidad Federico II de Nápoles la semana del Sahara, durante la cual la Escuela de Arquitectura tuvo como invitados a tres figuras emblemáticas de la experimentación saharauí en el exilio en los campos de la agricultura, el arte y la arquitectura. Entre ellos estaba Tateh Lehbib, guiando un taller práctico de construcción de una réplica de las viviendas de botellas de Tinduf.

Y es que como él mismo cuenta, uno de sus objetivos cuando visita Europa-además de seguir formándose para llevar nuevo conocimiento a los campos- es difundir la cultura y costumbres de su pueblo en Occidente.

Mi amiga Francesca, a quien conocí durante mi Erasmus, se ofreció a ser mi “corresponsal” y, además de informarme sobre la experiencia, hacer ciertas preguntas a Tateh que a mí me interesaban. Esta sería una reconstrucción ordenada de sus respuestas.

**¿Cuándo comenzaste a interesarte por la arquitectura? Imagino que tiene que ver la necesidad de reconstruir las viviendas afectadas por las inundaciones en Tinduf, ¿pero antes ya te habías interesado por ello?**

*En efecto, las inundaciones del año 2015 fueron determinantes para mí. La inquietud estaba ahí desde antes, estudié energías renovables porque pensaba que era desde donde podía ayudar a mejorar la calidad de vida, pero un desastre así te hace reaccionar. Ya no se trataba de mejorar las viviendas de los refugiados en general, sino que mi abuela había perdido su casa. Tenía que hacer algo.*

**En tu TFM buscabas soluciones para mejorar la eficiencia energética y el bienestar térmico de las viviendas de los campamentos. ¿Cómo se te ocurrió la idea de utilizar las botellas de plástico para construir? ¿Fue posterior al TFM?**

*En mi trabajo estudié las técnicas que se habían utilizado en otros lugares con condiciones climáticas y geográficas similares para disminuir la temperatura de las viviendas, pero cuando intentaba llevarlas a cabo,*

*por una cosa o por otra, fracasaba. Para una de las pruebas había conseguido botellas de plástico que utilicé en una cubierta vegetal, y me sobraron muchas. Entonces, recordando un documental que había visto en la universidad en el que se usaban estas botellas como ladrillos para construir, se me ocurrió probarlo también.*

**¿Ese documental hablaba sobre Andreas Froese?**

*Sí, en efecto.*

**Las casas con botellas que construyes son de planta circular. ¿De dónde viene la idea, si las viviendas en los campos eran rectangulares?**

*La forma circular se adapta mejor a las condiciones climáticas del desierto. Una de las adversidades a las que nos enfrentamos frecuentemente son las tormentas de arena, y con esta forma conseguimos que la arena no se acumule junto a la pared (llegando muchas veces hasta el techo) y entre menos polvo a la vivienda. Además, el viento tiene menos superficie contra la que chocar directamente; circula alrededor, lo que favorece la estabilidad de la construcción.*

**¿Esta forma diferente causa algún rechazo a los habitantes?**

*Es verdad que a mucha gente le cuesta aceptar lo diferente, sobre todo al principio, pues están acostumbrados a que sus casas sean de una forma. Algo que preocupaba especialmente es que las alfombras saharauíes son cuadradas y no encajaban en estas viviendas.*

**¿La forma ha afectado a la distribución del espacio en relación con la vivienda tradicional?**

*A primera vista pasar de una planta rectangular a otra circular parece un gran cambio, pero una vez te acostumbras ves que la diferencia no es tanta, puesto que en ambos casos la vivienda tiene una sola estancia. Con la forma circular se pierden rincones de mayor intimidad, pero se favorece la idea de encuentro y vida en común.*

**¿Cuántas personas viven en una casa? ¿Qué dimensiones tienen? ¿Son notablemente más grandes o pequeñas que las tradicionales?**

*Las viviendas miden 4 metros de diámetro y unos 3 metros de altura. Están pensadas para que vivan familias de 4 o 5 personas como máximo. En general son un poco más pequeñas que otras casas del estilo.*

**¿Se hicieron planos, dibujos o detalles constructivos de las viviendas como parte del proceso?**

*La verdad es que el diseño surgió mientras se construía, tenía la idea pero no se hicieron planos de arquitectura. En los campos el que construye*



*una casa no tiene que llamar a un arquitecto...*

**En las primeras casas había un problema con las cubiertas, ¿has encontrado una buena solución?**

*Al principio hicimos las cubiertas con lámina de zinc, como las que se utilizaban en las viviendas de adobe. El problema, como ya ocurría, era que se recalentaban demasiado. Ahora las hacemos también con botellas y conseguimos que la temperatura interior disminuya utilizando dos capas entre las cuales hay una ventilación de aire.*

**¿Cómo ha mejorado la calidad de vida de las personas que habitan estas viviendas? ¿Qué ventajas o inconvenientes tienen, además de la mayor resistencia?**

*Al principio nadie pensaba que iba a ser capaz de construir una casa con botellas de plástico (y por eso me llamaban ‘el loco de las botellas’) pero la vida de estas personas es ahora más cómoda y segura. Saben que las lluvias ya no tienen el poder de destruir sus casas, porque el plástico, a diferencia de la arena, no se deshace fácilmente. Hemos hablado de la mejor resistencia frente al viento y las tormentas de arena, pero también la temperatura interior de las viviendas de botellas se reduce y es más comfortable.*

**¿Crees que las viviendas de botellas son una construcción temporal, o puede ser permanente?**

*Para mí las casas de botellas no pretenden ser permanentes, porque eso significaría aceptar que la situación de mi pueblo no va a cambiar. Pero sí creo que son lo suficientemente resistentes para durar mucho tiempo.*

**¿Puede ser ésta una buena solución aplicable en otros lugares?**

*La técnica se puede aplicar en lugares diferentes, no solo en campos de refugiados. Hace un tiempo una organización me llamó porque estaban interesados en realizar conmigo un proyecto en Mauritania. Estas viviendas bioclimáticas pueden construirse en cualquier lugar donde haya residuos de plástico. Y vayas donde vayas, de eso no falta.*

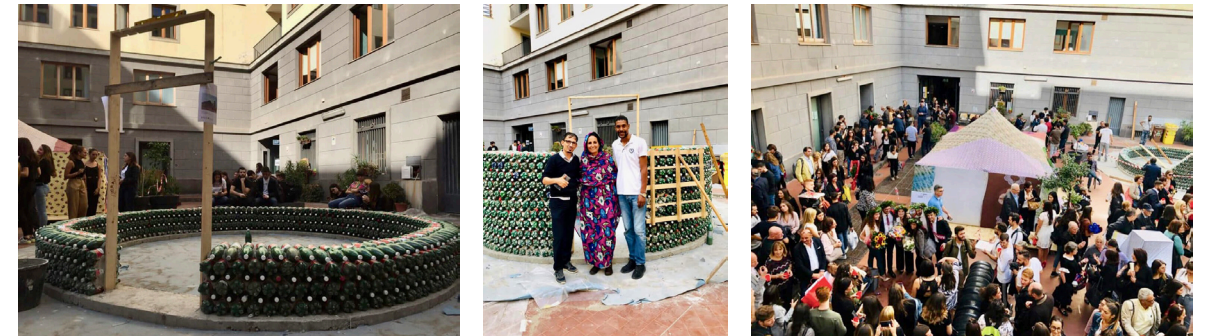
**¿Se han construido más viviendas tras las financiadas por ACNUR? ¿Cómo va el proyecto ahora, en qué estás trabajando?**

*El proyecto de ACNUR en los campos de Tinduf solo comprendía 25 viviendas, pero nosotros estamos construyendo más poco a poco. Por ejemplo, ahora en cada edición de La Maratón del Desierto me financian una vivienda. Hemos construido también una biblioteca y escuelas, y ahora vamos a hacer un campo deportivo con ayuda de un Club local,*

*que será el primer estadio ambiental, hecho con neumáticos y botellas de plástico rellenas de arena. Por otra parte he estado participando en otro proyecto de construcción de viviendas en Mauritania, y me dedico a dar charlas internacionales para comunicar todo lo que los refugiados somos capaces de hacer con los recursos de los que disponemos.*

**¿Qué es lo siguiente?**

*Para muchos, otra locura: vamos a construir un centro de investigación y desarrollo sobre arquitectura sostenible con los recursos de mi tierra. Será un laboratorio al aire libre para encontrar soluciones habitacionales que mejoren la calidad de vida de una población de 173.000 habitantes que actualmente depende de la ayuda humanitaria para subsistir. Mi objetivo es aliviar los sufrimientos de mi pueblo, y voy a seguir buscando soluciones sencillas para mejorar nuestra vida.*



*Algunas imágenes del evento en la universidad de Nápoles.*



**09**

**Créditos.  
Bibliografía e  
imágenes**

## Bibliografía

### sostenibilidad

Bechthold, M. y Kane, A. 2011. *Low carbon facade systems: case study on the Miniwiz POLLI-Brick Cladding System*. Design Robotics Group, Harvard University Graduate School of Design.

Hernández Aja, Agustín, ed. 2005. *La sostenibilidad en el proyecto arquitectónico y urbanístico*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Ilic, Marina y Nikolic, Magdalena. 2016. Drivers for development of circular economy - A case study of Serbia. *Habitat International* 56 (agosto): 191-200.

### plástico

Arnold, Emily y Larsen, Janet. 2006. Bottled water - Pouring resources down the drain. Earth Policy Institute. 2 de febrero. [http://www.earth-policy.org/plan\\_b\\_updates/2006/update51#](http://www.earth-policy.org/plan_b_updates/2006/update51#)

BBC Mundo. s. f. 2015. ¿Es seguro reutilizar las botellas de agua? BBC News Mundo. 1 de octubre, sección Salud. [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/10/150930\\_salud\\_es\\_seguro\\_reutilizar\\_botellas\\_plastico\\_ig](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/10/150930_salud_es_seguro_reutilizar_botellas_plastico_ig)

Geyer, Roland; Jambeck, Jenna R. y Law, Kara L. 2017. Production, use and fate of all plastics ever made. *Science advances* 3(7): e1700782.

Oliphant, J. A.; Ryan, M. C. y Chu, A. 2002. Bacterial water quality in the personal water bottles of elementary students. *Canadian Journal of Public Health. Revue canadienne de santé publique* 93 (septiembre): 366-67.

Sitio web Our World in Data. Plastic Pollution. <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>

Parker, Laura. 2018. A Whopping 91% of Plastic Isn't Recycled. National Geographic News. 20 de diciembre. <https://www.nationalgeographic.com/news/2017/07/plastic-produced-recycling-waste-ocean-trash-debris-environment/>

Parker, Laura. 2018. Fast facts about plastic pollution. National Geographic News. 20 de diciembre. <https://www.nationalgeographic.com/news/2018/05/plastics-facts-infographics-ocean-pollution/>

Parker, Laura. 2018. Plastics. *National Geographic*, junio.

Sitio web Wikipedia, la enciclopedia libre. Tereftalato de polietileno. [https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato\\_de\\_polietileno](https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato_de_polietileno) (consultado en noviembre 2019)

Kenna, Padraic. 2008. Globalization and Housing Rights. *Indiana Journal of Global Legal Studies* 15(2): 397-469.

Sitio web Habitat for Humanity UK. <https://www.habitatforhumanity.org.uk/what-we-do/building-and-renovating-homes/> (consultado en noviembre 2019)

ONU. 1948. *Declaración Universal de los Derechos Humanos*. Asamblea General ONU (París).

ONU Habitat. 2011. *Las ciudades y el cambio climático: Informe Mundial sobre Asentamientos Humanos*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. (Kenia: Earthscan).

### vivienda

Alvarado, Paula. 2010. Lawyer turned architect builds recycled homes for people in need. *Design sustainable product design*, 24 de marzo.

Brownell, Blaine. 2018. Recycled plastic building products to save our planet. *ARCHITECT*, 27 de septiembre. [https://www.architectmagazine.com/technology/products/recycled-plastic-building-products-to-save-our-planet\\_o](https://www.architectmagazine.com/technology/products/recycled-plastic-building-products-to-save-our-planet_o)

Demir, Ismail. 2006. An investigation on the production of construction brick with processed waste tea. *Building and Environment* 41(9): 1274-78.

Kaltenbach, Frank. 2011. ¿Desecho, material reciclable o arte? Propósitos y atractivos del reciclado. *DETAIL: revista de arquitectura y detalles constructivos* 1: 6-10.

Korjenic, A., Petránek, V., Zach, J. y Hroudová, J. 2011. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy and Buildings* 43(9): 2518-23.

El País. 2009. Templo budista hecho con botellas reusadas. Periódico *El País* de Cali. Recuperado de: <http://lacomunidad.elpais.com/cortesamador>

Real Academia Española. 1992. *Diccionario de la lengua española*. Madrid: Espasa Calpe.

### construcción con materiales desechados

**construir con  
botellas de plástico**

- Rey Mazón, Pablo. 2010. La reutilización es el autostop de la arquitectura. *Basurama*. <https://basurama.org/txt/la-reutilizacion-es-el-autostop-de-la-arquitectura-pablo-rey-mazon/>
- Reynolds, Michael. 1990. *Earthship. How to build your own*, vol. 1. Solar Survival Architecture.
- Sitio web oficial de Michael Reynolds *Earthship Biotecture*. <https://www.earthshipglobal.com/>
- Bennanton, Alessa. 2008. Reciclando plástico, construimos. *EcoHabitat* 19 (otoño): 34-36.
- Childs, Arcynta Ali. 2011. How to turn 8000 plastic bottles into a building. *Smithsonian Magazine*, junio. <https://www.smithsonianmag.com/arts-culture/how-to-turn-8000-plastic-bottles-into-a-building-159096582/>
- Froese, Andreas. 2018. Entrevista en el programa *Hablemos de arquitectura* (mayo). <https://www.eco-tecnologia.com/media-download/newsroom/161-entrevista-hablemos-de-arquitectura-invitado-andreas-froese>
- Sitio web oficial de Andreas Froese <https://www.eco-tecnologia.com/>
- K. Kalumire. 2011. Investigating the compressive strength of plastic bottles as masonry. Trabajo Fin de Grado, Faculty of the Built Environment, Uganda Martyrs University.
- Mansour, Ashraf y Ali, Shubi A. 2015. Reusing waste plastic bottles as an alternative sustainable building material. *Energy for Sustainable Development* 24 (febrero): 79-85.
- Muyen, Z.; Barna, T. y Hoque, M. 2016. Strength properties of plastic bottle bricks and their suitability as construction materials in Bangladesh. *Progressive Agriculture* 27(3): 362-68.
- Oyinlola, Muiyiwa y otros. 2018. Bottle house: A case study of transdisciplinary research for tackling global challenges. *Habitat International* 79: 18-29.
- Ruiz Valencia, Daniel; López Pérez, Cecilia; Cortes, Eliana; Froese, Andreas. 2012. Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra. *Apuntes* 25(2): 292-303.
- Saxena, Shilpi y Singh, Monika. 2013. Eco-Architecture: Pet Bottle Houses. *International Journal of Scientific Engineering and Technology* 2(12): 1243-46.
- Taaffe, Jonathan; O'Sullivan, Sean; Rahman, Muhammad E. y

- Pakrashi, Vikram. 2014. Experimental characterisation of Polyethylene terephthalate (PET) bottle eco-bricks. *Materials & Design* 60: 50-56.
- Valinejad Shoubi, Mojtaba; Valinejad Shoubi, Masoud y Shakiba Barough, Azim. 2013. Investigating the application of plastic bottle as a sustainable material in the building construction. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)* 2(1): 28-34.
- El Clarín. 2007. Una casa hecha solamente con botellas de plástico. *Periódico El Clarín*, 28 de agosto, sección Curiosidades.
- Corea, Nicholas. 2016. La Historia del Pueblo de Plástico. *The Bocas Breeze* (mayo), 8-10.
- Sitio web EcoInventos. 2016. Casa construida con botellas PET recicladas en Nigeria, 29 de marzo de 2016. <https://ecoinventos.com/casa-construida-con-botellas-pet-recicladas-en-nigeria/> (consultado en noviembre de 2019).
- Sitio web de Hug it forward- Bottle Schools. <https://hugitforward.org/>
- Hug it forward. *The Bottle School Manual*. Manual de construcción proporcionado por la organización.
- El Mundo. 2007. Un profesor jubilado serbio promueve la construcción alternativa entre sus ex alumnos. *Periódico El Mundo*, 27 de agosto. <https://www.elmundo.es/elmundo/2007/08/27/suvienda/1188234572.html> (consultado el 7 de octubre de 2019).
- El País. 2005. Una "casita encantada", armada con botellas, causa sensación. *Periódico El País de Cali*, 8 de abril, sección El Salvador. <http://historico.elpais.com.co/paionline/notas/Abril082008/casitaencantada.html#> (consultado el 5 de septiembre de 2019).
- Sitio web Plataforma Arquitectura. En Detalle: Construcción con botellas recicladas. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-118791/en-detalle-construccion-con-botellas-recicladas> (consultado en noviembre 2019).
- Sitio web Tronya. Anciana De 78 Años Construyó Su "Casita Encantada" Con Botellas Y Se Convirtió En Sensación. <http://www.tronya.com/anciana-de-78-anos-construyo-su-casita-encantada-con-botellas-y-se-convirtio-en-sensacion/> (consultado en noviembre 2019).
- Una casa de botellas, símbolo de reciclaje, encanta a salvadoreños. s. f. 2017. <https://es.noticias.yahoo.com/una-casa-botellas-s%C3%ADmbolo-reciclaje-encanta-salvadore%C3%B1os-204111083.html> (consultado en noviembre 2019).

**casos de viviendas  
construidas con  
botellas de plástico**

Sitio web de ACNUR Comité Español. Refugiados saharauis: 40 años de vida en los campos. <https://eacnur.org/blog/refugiados-saharauis-40-anos-de-vida-en-los-campos/> (consultado en noviembre 2019).

Bouchair, A.; Tebbouche, H.; Hammouni, A.; Lehtihet, M.C. y Blibli, M. 2013. Compact cities as a response to the challenging local environmental constraints in hot arid lands of Algeria. *Mediterranean Green Energy Forum (MGEF)* 13: 502.

Sitio web *EcoInventos*. 2019. 'El loco de las botellas', el constructor de casas con botellas de plástico que hace la vida más fácil a los refugiados saharauis. <https://ecoinventos.com/constructor-casas-botellas-plastico-refugiados-saharauis/>

Fernández, María. 2016. 9 Claves Para Entender El Conflicto Sin Fin Del Sáhara Occidental. *Código Nuevo*, 11 de noviembre, sección Sociedad. <https://www.codigonuevo.com/sociedad/9-claves-entender-conflicto-sahara-occidental> (consultado en octubre 2019).

Lehbib Barika, Tateh. 2015. Propuesta de medidas de mejora de la eficiencia energética y del bienestar térmico de los edificios de viviendas en los campamentos de refugiados saharauis en Tinduf. Trabajo Final de Máster, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Sitio web *Roca Gallery*. Sandman, Tateh Lehbib construye viviendas bioclimáticas. <http://www.rocagallery.com/es/the-sandman> (consultado en octubre 2019).

@Sandships, página de Facebook administrada por Tateh Lehbib.

Sitio web *Soziable*. El "loco del desierto" que construye casas con botellas rellenas de arena. <https://www.soziable.es/planeta/el-loco-del-desierto-que-construye-casas-con-botellas-rellenas-de-arena> (consultado en octubre 2019).

Sitio web *UNHCR Innovation*. Investing in People, Not Projects: A look at UNHCR's experimental funding. <https://www.unhcr.org/innovation/investing-in-people-not-projects-a-look-at-unhcrs-experimental-funding/> (consultado en octubre 2019).

Sitio web *VIX*. Tateh Lehbib Breica, el refugiado que construye casas con botellas de plástico. [https://www.vix.com/es/ciudadanos/188903/nadar-para-concientizar-la-iniciativa-que-busca-alertar-sobre-el-cambio-climatico?utm\\_source=next\\_article](https://www.vix.com/es/ciudadanos/188903/nadar-para-concientizar-la-iniciativa-que-busca-alertar-sobre-el-cambio-climatico?utm_source=next_article) (consultado en octubre 2019).

Sitio web *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Guerra del Sahara Occidental. [https://es.wikipedia.org/wiki/Guerra\\_del\\_Sahara\\_Occidental](https://es.wikipedia.org/wiki/Guerra_del_Sahara_Occidental) (consultado en octubre 2019).

## Imágenes

<i>figura 1</i>	Elaboración propia con datos del sitio web Our World in Data, "Plastic Pollution" <a href="https://ourworldindata.org/plastic-pollution">https://ourworldindata.org/plastic-pollution</a>
<i>figuras 2 y 3</i>	Elaboración propia con datos de Geyer, Jambeck y Law (2017).
<i>figura 4</i>	Elaboración propia.
<i>figura 5</i>	Sitio web Earthship Biotecture. <a href="https://www.earthshipglobal.com/">https://www.earthshipglobal.com/</a>
<i>figura 6</i>	Sitio web Dosde, "Park Güell" <a href="https://www.dosde.com/fr/park-guell-cite-jardin-visuelle.html">https://www.dosde.com/fr/park-guell-cite-jardin-visuelle.html</a> (consultado en noviembre 2019)
<i>figura 7</i>	Blog TecnoHaus, "Villa Welpeloo- Superuse Studios" <a href="https://tecnohaus.blogspot.com/2013/02/villa-welpeloo-superuse-studios.html">https://tecnohaus.blogspot.com/2013/02/villa-welpeloo-superuse-studios.html</a> (consultado en noviembre 2019)
<i>figura 8</i>	Blog Beauty will save, "The first bottle house constructed in 1902 in Tonopah, Nevada, by William Peck" <a href="https://viola.bz/glass-bottle-houses/the-first-bottle-house-constructed-in-1902-in-tonopah-nevada-by-william-peck/">https://viola.bz/glass-bottle-houses/the-first-bottle-house-constructed-in-1902-in-tonopah-nevada-by-william-peck/</a> (consultado en noviembre 2019)
<i>figura 9</i>	Sitio web Earthship Biotecture. <a href="https://www.earthshipglobal.com/">https://www.earthshipglobal.com/</a>
<i>figura 10</i>	Sitio web Front. <a href="https://static.frontinc.com/uploads/2014/03/Morimoto_01_1200x800.jpg">https://static.frontinc.com/uploads/2014/03/Morimoto_01_1200x800.jpg</a> (consultado en noviembre 2019)
<i>figura 11</i>	Sitio web TICbeat, "Este templo budista de Tailandia está hecho con más de 1,5 millones de botellas de cerveza" <a href="https://cdn.ticbeat.com/src/uploads/2019/07/templo-millon-botellas-cerveza-810x538.jpg">https://cdn.ticbeat.com/src/uploads/2019/07/templo-millon-botellas-cerveza-810x538.jpg</a> (consultado en noviembre 2019)
<i>figura 12</i>	Sitio web Arquitectura y Empresa, "Wat Pa Maha Chedi Kaew El Templo de botellas" <a href="https://www.arquitecturayempresa.es/sites/default/files/content/arquitectura_templo_botellas1.jpg">https://www.arquitecturayempresa.es/sites/default/files/content/arquitectura_templo_botellas1.jpg</a> (consultado en noviembre 2019)
<i>figura 13</i>	Elaboración propia con datos de Wikipedia.
<i>figura 14</i>	Elaboración propia con datos de: <ul style="list-style-type: none"> <li>-Geyer, Jambeck y Law (2017).</li> <li>-Parker, Laura. 2018. Plastic. <i>National Geographic</i> (junio).</li> </ul>

-Parker, Laura. "Fast facts about plastic pollution" Sitio web de National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/news/2018/05/plastics-facts-infographics-ocean-pollution/> (consultado en octubre 2019)

-Parker, Laura. "A whopping 91% of plastic isn't recycled" Sitio web de National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/news/2017/07/plastic-produced-recycling-waste-ocean-trash-debris-environment/> (consultado en octubre 2019)

-Sitio web Wikipedia, "Tereftalato de polietileno" [https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato\\_de\\_polietileno](https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato_de_polietileno)

Elaboración propia con datos de Shoubi, Shoubi y Barough (2013).

Sitio web Tronya, "Anciana De 78 Años Construyó Su "Casita Encantada" Con Botellas Y Se Convirtió En Sensación" <http://www.tronya.com/anciana-de-78-anos-construyo-su-casita-encantada-con-botellas-y-se-convirtio-en-sensacion/> (consultado en noviembre 2019)

Sitio web del periódico El Mundo.es, "La casa de botellas de plástico" <https://www.elmundo.es/elmundo/2007/08/27/suvivien-da/1188234572.html> (consultado en noviembre 2019)

Blog Magia en el Camino, "La casa de botellas en Puerto Iguazú" <https://magiaenelcamino.com.ar/la-casa-botellas-puerto-iguazu.html> (consultado el 6 de noviembre 2019)

Kalumire K. "Investigating the compressive strength of plastic bottles as masonry" (tesis de licenciatura, Faculty of the Built Environment, Uganda Martyrs University, 2011), 54.

Ruiz, López, Cortes y Froese, "Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra", 293.

The Ecobrick Exchange, "Progress report 2015" <https://www.ecobrickexchange.org>

V.V.A.A. 2018. Bottle House: a case study of transdisciplinary research for tackling global challenges. *Habitat International* 79, 26.

Mansour y Ali, "Reusing waste plastic bottles as an alternative sustainable building material", *Energy for Sustainable Development* 24 (2015): 83.

Elaboración propia con la página web [www.mapchart.net](http://www.mapchart.net).

Elaboración propia.

Sitio web Estilo Lexux, "La vida en el Sáhara: té, jaima y camello" <http://appfb.com/EstiloLexus/la-vida-en-el-sahara-te-jaima-y-camello/> (consultado en noviembre 2019)

*figura 15*

*figuras 16 y 17*

*figuras 18 y 19*

*figura 20*

*figura 21*

*figura 22*

*figura 23*

*figuras 24 y 25*

*figura 26*

*figura 27*

*figura 28*

*figura 29*



<i>figura 30</i>	Blog Los Viajes de Rodolfo, "La inquieta tranquilidad de Tinduf. 19 de enero de 2016" <a href="https://losviajesderodolfo.com/2016/01/20/la-inquieta-tranquilidad-de-tinduf-19-de-enero-de-2016/">https://losviajesderodolfo.com/2016/01/20/la-inquieta-tranquilidad-de-tinduf-19-de-enero-de-2016/</a> (consultado en noviembre 2019)	Sitio web Engoo, "Used Plastic Bottles Become Homes in Uganda" <a href="https://engoo.com.vn/app/daily-news/article/used-plastic-bottles-become-homes-in-uganda/pIMbkgI3Eeq1vaMixVN5UQ">https://engoo.com.vn/app/daily-news/article/used-plastic-bottles-become-homes-in-uganda/pIMbkgI3Eeq1vaMixVN5UQ</a> (consultado en noviembre 2019)	
<i>figura 31</i>	Blog Voz del Sahara Occidental en Argentina, "Dajla. En la jaima de Mohamed Ali" <a href="https://rasdargentina.wordpress.com/2015/05/08/dajla-en-la-jaima-de-mohamed-ali/">https://rasdargentina.wordpress.com/2015/05/08/dajla-en-la-jaima-de-mohamed-ali/</a> (consultado en noviembre 2019)  Sitio web de ACNUR Comité Español, "Refugiados saharauis: 40 años de vida en los campos" <a href="https://eacnur.org/blog/refugiados-saharauis-40-anos-de-vida-en-los-campos/">https://eacnur.org/blog/refugiados-saharauis-40-anos-de-vida-en-los-campos/</a> (consultado en noviembre 2019)  Blog Los Viajes de Rodolfo, "La inquieta tranquilidad de Tinduf. 19 de enero de 2016" <a href="https://losviajesderodolfo.com/2016/01/20/la-inquieta-tranquilidad-de-tinduf-19-de-enero-de-2016/">https://losviajesderodolfo.com/2016/01/20/la-inquieta-tranquilidad-de-tinduf-19-de-enero-de-2016/</a> (consultado en noviembre 2019)	Sitio web Viviendo en la Tierra, "Construcción Ecológica: Casas baratas hechas con botellas de vidrio" <a href="https://viviendoenlatierra.com/2010/03/24/casas-baratas-hechas-con-botellas-de-vidrio/">https://viviendoenlatierra.com/2010/03/24/casas-baratas-hechas-con-botellas-de-vidrio/</a> (consultado en noviembre 2019)  V.V.A.A. 2018. Bottle House: a case study of transdisciplinary research for tackling global challenges. <i>Habitat International</i> 79, 25.	<i>figuras 45 y 46</i>  <i>figuras 47 y 51</i>
<i>figura 33</i>	Elaboración propia.	Elaboración propia.	<i>figura 48</i>
<i>figura 34</i>	Sitio web Diario Uchile, "Autodeterminación saharai: el mundo se pronuncia, Chile calla" <a href="https://radio.uchile.cl/2016/10/27/autodeterminacion-saharai-el-mundo-se-pronuncia-chile-calla/">https://radio.uchile.cl/2016/10/27/autodeterminacion-saharai-el-mundo-se-pronuncia-chile-calla/</a> (consultado en noviembre 2019)	V.V.A.A. 2018. Bottle House: a case study of transdisciplinary research for tackling global challenges. <i>Habitat International</i> 79, 24.	<i>figura 49</i>
<i>figura 35</i>	Sitio web World Habitat, "Casas de Botellas de Plástico para los Refugiados Saharauis" <a href="https://world-habitat.org/es/premios-mundiales-del-habitat/ganadores-y-finalistas/casas-de-botellas-de-plastico-para-los-refugiados-saharauis/">https://world-habitat.org/es/premios-mundiales-del-habitat/ganadores-y-finalistas/casas-de-botellas-de-plastico-para-los-refugiados-saharauis/</a> (consultado en noviembre 2019)	Sitio web Daily Trust, "Why we're recycling plastic bottles into houses" <a href="https://www.dailytrust.com.ng/why-we-re-recycling-plastic-bottles-into-houses.html">https://www.dailytrust.com.ng/why-we-re-recycling-plastic-bottles-into-houses.html</a> (consultado en noviembre 2019)	<i>figura 50</i>
<i>figuras 36 y 37</i>	Elaboración propia.	Sitio web The Plastic Bottle Village, "the castle" <a href="http://www.plasticbottlevillage-theline.com/en/castle-inspiration">http://www.plasticbottlevillage-theline.com/en/castle-inspiration</a> (consultado en noviembre 2019)	<i>figura 52</i>
<i>figura 38</i>	El País, "Tateh, el ingeniero con un gran plan para su pueblo" <a href="https://el-pais.com/publi-especial/vidas-nuevas/tateh-lehbib-breica/">https://el-pais.com/publi-especial/vidas-nuevas/tateh-lehbib-breica/</a> (consultado en junio 2020)	El País, "Tateh, el ingeniero con un gran plan para su pueblo" <a href="https://el-pais.com/publi-especial/vidas-nuevas/tateh-lehbib-breica/">https://el-pais.com/publi-especial/vidas-nuevas/tateh-lehbib-breica/</a> (consultado en junio 2020)	<i>figura 53</i>
<i>figuras 39 y 40</i>	Sitio web de ACNUR Comité Español, "Documental El Loco del Desierto" <a href="https://eacnur.org/es/actualidad/noticias/eventos/documental-el-loco-del-desierto">https://eacnur.org/es/actualidad/noticias/eventos/documental-el-loco-del-desierto</a> (consultado en noviembre 2019)	Sitio web La Casa Ecológica de Botellas, <a href="https://sites.google.com/site/lacasadebotellas2/">https://sites.google.com/site/lacasadebotellas2/</a> (consultado en noviembre 2019)	<i>figura 54</i>
<i>figura 41</i>	Sitio web Plataforma Arquitectura, "La primera casa de botellas de África" <a href="https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-118196/la-primer-casa-de-botellas-de-africa">https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-118196/la-primer-casa-de-botellas-de-africa</a> (consultado en noviembre 2019)	Sitio web Viviendo en la Tierra, "Construcción Ecológica: Casas baratas hechas con botellas de vidrio" <a href="https://viviendoenlatierra.com/2010/03/24/casas-baratas-hechas-con-botellas-de-vidrio/">https://viviendoenlatierra.com/2010/03/24/casas-baratas-hechas-con-botellas-de-vidrio/</a> (consultado en noviembre 2019)	<i>figura 55 y 57</i>
<i>figura 42</i>	Elaboración propia.	Sitio web The Plastic Bottle Village, <a href="http://www.plasticbottlevillage-theline.com/en/castle-inspiration">http://www.plasticbottlevillage-theline.com/en/castle-inspiration</a> (consultado en noviembre 2019)	<i>figura 56, 59 y 62</i>
<i>figura 43</i>	Sitio web Daily News Precise, "NGO constructs first plastic bottle house in Kaduna" <a href="https://dailynewsprecise.wordpress.com/2017/05/07/ngo-constructs-first-plastic-bottle-house-in-kaduna/">https://dailynewsprecise.wordpress.com/2017/05/07/ngo-constructs-first-plastic-bottle-house-in-kaduna/</a> (consultado en noviembre 2019)	Sitio web Hug it Forward, "Fotos y videos" <a href="https://hugitforward.org/photos-and-videos/">https://hugitforward.org/photos-and-videos/</a> (consultado en noviembre 2019)	<i>figura 58</i>
		Sitio web Smithsonian Magazine, "How to Turn 8,000 Plastic Bottles Into a Building" <a href="https://www.smithsonianmag.com/arts-culture/how-to-turn-8000-plastic-bottles-into-a-building-159096582/">https://www.smithsonianmag.com/arts-culture/how-to-turn-8000-plastic-bottles-into-a-building-159096582/</a>	<i>figura 60</i>
		Sitio web Tronya, "Anciana De 78 Años Construyó Su "Casita Encantada" Con Botellas Y Se Convirtió En Sensación" <a href="http://www.tronya.com/anciana-de-78-anos-construyo-su-casita-encantada-con-bote-">http://www.tronya.com/anciana-de-78-anos-construyo-su-casita-encantada-con-bote-</a>	<i>figura 61</i>

llas-y-se-convirtio-en-sensacion/ (consultado en noviembre 2019)

*figura 63*

El País, "Tateh, el ingeniero con un gran plan para su pueblo" <https://el-pais.com/publi-especial/vidas-nuevas/tateh-lehbib-breica/> (consultado en junio 2020)

*figura 64*

Elaboración propia con la página web [www.mapchart.net](http://www.mapchart.net)

